

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2018

Bc. Adam Šobich



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

KOLORIMETR PRO MEDICÍNSKÉ APLIKACE S NFC PŘIPOJENÍM

COLORIMETER FOR MEDICAL APPLICATIONS WITH NFC CONNECTIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adam Šobich

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Sekora

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské a ekologické inženýrství**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Bc. Adam Šobich

ID: 155609

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Kolorimetr pro medicínské aplikace s NFC připojením

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s technologií NFC a s komunikací senzorických zařízení přes NFC. 2) Prostudujte možnosti bezkontaktního napájení pomocí NFC pro napájení externích senzorů. 3) Navrhněte optický měřicí systém pro kolorimetrická měření pro biomedicínské aplikace, který bude napájen pomocí technologie NFC. Při návrhu uvažujte energetickou bilanci zařízení v souvislosti s jeho bezdrátovým napájením. 4) Sestavte navržený systém a sestavte řídicí software pro komunikaci s NFC s využitím prostředí App Inventor. 5) Navržené zařízení testujte a porovnejte dosažené výsledky s komerčními glukometry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] COSKUN, Vedat., Kerem. OK a Busra. OZDENIZCI. Professional NFC application development for Android. Chichester [England]: Wiley, 2013. Programmer to programmer.

[2] YIRKA, Bob. E-paper display powered by NFC from smartphone. [online]. Phys.org, 2013. Dostupné z: <<https://phys.org/pdf296294144.pdf>>.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 18.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

Konzultant:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje sestavení kolorimetru s využitím NFC technologie. Teoretická část seznamuje s principy kolorimetrického měření, kalibrační křivkou a s důležitými fyzikálními veličinami. Práce pojednává o principu technologie NFC, její architektuře a o dělení NFC zařízení. Praktická část práce navrhuje konstrukční a softwarové řešení vlastního kolorimetru. Zvláštní důraz je kladen na výběr RGB senzoru, který je testován a výsledky jsou analyzovány. Řešen je elektrický obvod a ovládání pomocí mikroprocesoru. Práce se zabývá realizací aplikace pro operační systém Android, která slouží jako uživatelské rozhraní kolorimetru. Získávání dat ze senzoru a jejich ukládání do paměti NFC tagu je zajištěno platformou Arduino. Problémy zjištěné během vypracování práce jsou rozebrány v diskuzi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kolorimetr, NFC technologie, NFC tag MAX66242, NDEF, I²C sběrnice, Arduino UNO, RGB senzor ISL29125, aplikace pro Android, vývojové prostředí Android Studio

ABSTRACT

This Master's thesis deals with assembling of a colorimeter using NFC technology. The theoretical part introduces the principles of colorimetric measurement, calibration curve, and important physical quantities. Further, the principle of NFC technology, its architecture, and division of NFC devices are described. The goal of the practical part is to propose a structural design and software solution of a colorimeter. Particular emphasis is placed on the selection of the RGB sensor that is being tested and its results are being analyzed. The construction of electrical circuit and microprocessor control are being solved. The manuscript deals with the implementation of an application for the Android operating system, which serves as the user interface of the colorimeter. Obtaining data from the sensor and storing it in a memory of the NFC tag is provided by the Arduino platform. Issues that were encountered during the work are analyzed in the discussion.

KEYWORDS

Colorimeter, NFC technology, NFC tag MAX66242, NDEF, I²C bus, Arduino UNO, RGB sensor ISL29125, application for Android, development environment Android Studio

ŠOBICH, Adam. *Kolorimetr pro medicínské aplikace s NFC připojením*. Brno, 2018, 76 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Kolorimetr pro medicínské aplikace s NFC připojením“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi za odborné vedení, cenné rady, ochotu a velkou trpělivost při zpracování této práce. Dále děkuji konzultantovi práce panu Ing. Vratislavu Čmielovi, Ph.D. za odbornou pomoc a podnětné rady.

Brno

.....

podpis autora

OBSAH

Úvod	10
1 Absorpční spektrální analýza	11
1.1 Kolorimetrie	14
1.2 Fyzikální veličiny světelných jevů	15
2 Technologie NFC	16
2.1 Dělení NFC zařízení	16
2.2 NFC Tagy	17
2.3 NFC architektura a standardy	18
2.4 Fyzikální principy RFID systémů	20
3 Vlastní návrh kolorimetru	25
3.1 Koncepční řešení kolorimetru	26
4 Testování senzoru	31
5 Hardwarové řešení	36
5.1 I ² C zapojení	36
5.2 Napájení obvodu	36
5.3 Spouštění kolorimetru	37
5.4 Krabíčka	39
6 Softwarové řešení	40
6.1 I ² C rozhraní	40
6.2 RF rozhraní	45
7 Aplikace pro Android	49
7.1 MIT App Inventor 2	51
7.2 Android Studio	52
7.2.1 Vlastní aplikace	53
8 Diskuze	61
9 Závěr	64
Literatura	66
Seznam příloh	69

A	Obrázky	70
A.1	Senzitivita senzoru	70
A.2	Uživatelské rozhraní Android aplikace	71
B	Schéma hardwarového řešení	72
C	Krabička kolorimetru	73
D	Obsah přiloženého CD	74

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Spektrum viditelného světla	11
1.2	Komplementární barevný kruh	12
1.3	Kalibrační křivka (převzato z [36])	14
1.4	Detekce signálu po průchodu vzorkem	15
2.1	Schématické znázornění NFC zařízení a způsobu jejich napájení . . .	17
2.2	Schéma NFC tagu	17
2.3	Přehled NFC standardů a specifikací (převzato z [37])	20
2.4	Závislost intenzity magnetické indukce na dalších parametrech	22
2.5	Vzájemná indukce cívek (převzato z [12])	23
2.6	Schéma obvodu indukčně spojených cívek (převzato z [12])	23
2.7	Obecné schéma indukčního přenosu energie (převzato z [12])	24
3.1	Blokové schéma původně navrženého kolorimetru	25
3.2	Blokové schéma nově navrženého kolorimetru	26
3.3	Schématické zapojení MAX66242	27
3.4	Schéma optického systému kolorimetru	29
4.1	3D model samotného stojanu na kyvety	31
4.2	Vývojová deska Arduino UNO v zapojení se senzorem ISL29125 . . .	32
4.3	Kalibrační roztoky připravené pro účel práce	33
4.4	Výsledné kalibrační křivky	34
4.5	Spektrum viditelného světla po průchodu vzorky	35
5.1	Schéma zapojení pull-up rezistorů k I ² C sběrnici	36
5.2	Schéma zapojení halogenové žárovky a zdroje napájení pro kolorimetr	37
5.3	Pouzdro kolorimetru	39
6.1	Řetězec toku dat mezi komponentami a jejich vztah master/slave . .	40
6.2	Adresy slave zařízení	41
6.3	Stavy datové (SDA) a hodinové (SCL) linky při posílání dat	42
6.4	Sekvence čtení z registru (převzato z [9])	43
7.1	Životní cyklus aktivit	50
7.2	Vývojové prostředí MIT App Inventor 2 (převzato z [27])	52
7.3	Vývojové prostředí Android Studio	53
7.4	Vývojový diagram pracovního postupu	54
8.1	Ukázka uživatelského rozhraní softwaru MAX66300-24x EVkit	62
A.1	Spektrum senzitivity senzoru ISL29125 (převzato z [9])	70
A.2	Uživatelské rozhraní Android aplikace	71
B.1	Kompletní schéma obvodu	72
C.1	Pouzdro kolorimetru, pohled zespodu	73
C.2	Pouzdro kolorimetru, pohled ze shora	73

SEZNAM TABULEK

3.1	Výrobce stanovené parametry Arduino UNO (hodnoty převzaty z [5])	28
3.2	Porovnané hodnoty parametry RGB senzorů	30
4.1	Použité koncentrace kalibračních roztoků a naměřené hodnoty	33
6.1	Sekvence bajtů pro zápis do EEPROM paměti NFC tagu	44
6.2	Sekvence bajtů pro čtení z EEPROM paměti NFC tagu	45
6.3	Definice požadavků flagů 1 až 4 bit	46
6.4	RQF 5 až 8 bit, když bit 3 = 0	47
6.5	RQF 5 až 8 bit, když bit 3 = 1	47
8.1	Sekvence bajtů pro periferní translaci	63

ÚVOD

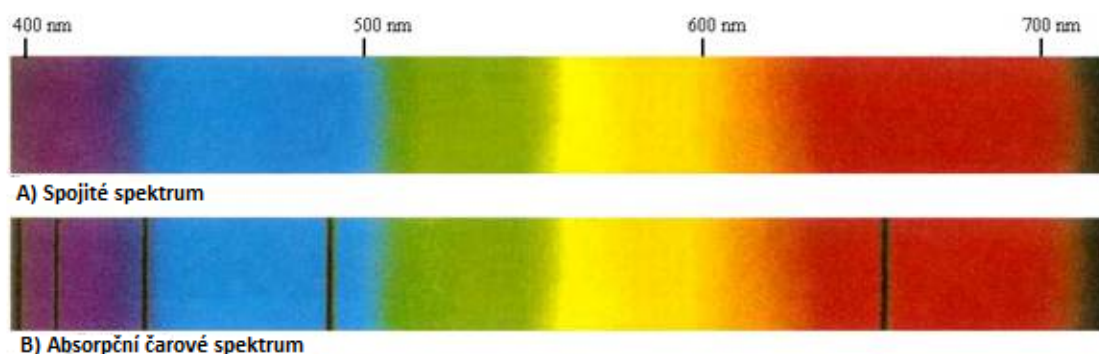
V současnosti je trendem mnoha společností vyvíjet přístroje, u kterých při zachování kvality funkcí, dochází zároveň ke zmenšení, snížení energetických požadavků a zjednodušení jejich ovládání. Stejný přístup byl zvolen i při tvorbě této práce, jejíž hlavním cílem je vytvořit kolorimetr s nízkými nároky na energii a snadným ovládáním dostupným pro většinu uživatelů. K ovládání se proto nabízejí chytré telefony s NFC technologií, které jsou stále více využívány, především kvůli množství funkcí značně překračujících původní koncept mobilních telefonů. K rozvoji chytrých telefonů, také přispívá přehlednost a relativní jednoduchost tvorby aplikací ve vývojových prostředích. Je proto normální, že se chytré telefony používají k měření nebo k ovládání jiných přístrojů. Komunikace mezi kolorimetrickým zařízením a chytrým telefonem bude zajišťovat NFC technologie.

Teoretická část práce se zaměří na představení kolorimetrie a vysvětlení principu absorpční spektrální analýzy, která je základem pro pochopení dějů probíhajících ve vzorku v optické části kolorimetrického přístroje, včetně popisu důležitých veličin. Podrobněji bude pojednáno o typech senzorů intenzity dopadajícího záření a principu snímání záření. Práce se bude věnovat základním principům NFC technologie, rozdělení zařízení podle jejich vzájemného chování při komunikaci a popisem konstrukce tzv. NFC tagu. Po softwarové stránce budou vysvětleny mezinárodní standardy a formát pro výměnu dat. Popsány budou také základní fyzikální veličiny uplatňující se při komunikaci mezi zařízeními.

Praktická část práce bude obsahovat návrh vlastního kolorimetru s NFC připojením včetně popisu jednotlivých částí přístroje. Zvláštní důraz bude kladen na výběr zdroje světla a senzoru. Senzor bude dále testován, jestli je vhodný pro aplikaci v kolorimetru. Při analýze výsledků bude navrženo optimální nastavení senzoru, které bude použito při sestavování výsledného softwaru. Součástí práce bude systémový návrh kolorimetru s NFC připojením, stejně tak elektrické schéma zapojení a software.

1 ABSORPČNÍ SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA

Absorpční spektrální analýza pracuje s absorpčním spektrem vzniklého rozkladem viditelného záření a blízké oblasti UV záření při průchodu vzorkem. Částice v roztoku absorbují pouze záření takové vlnové délky, které zapříčiní přechod elektronů v obalu atomů do excitovaného stavu. Částice zůstává v excitovaném stavu jen krátce a poté se vrací do původního stavu, přičemž dochází k uvolnění energie nejčastěji ve formě tepelné energie. Vlnové délky absorbované v látce chybí ve výsledném spektru prošlého světla. Na zobrazeném spektru můžeme pozorovat spektrální čáry, tmavé čáry, na původně spojitém spektru, viz obrázek 1.1 . Podle použité přístrojové techniky dělíme absorpční spektrální analýzu na spektrofotometrii, atomovou absorpční spektrofotometrii, fotometrii a kolorimetrii. Metody se liší především typem záření a metodou vzniku záření dopadajícího na zkoumaný vzorek.[13, 16, 35]



Obr. 1.1: Spektrum viditelného světla: A) Spojité polychromatické spektrum před vstupem do vzorku B) Absorpční čárové spektrum po průchodu vzorkem (převzato z [35])

Transmittance

Po průchodu světla barevnou látkou, můžeme zaznamenat pokles intenzity prošlého světla oproti intenzitě světla vyzářeného světelným zdrojem. Transmittance tedy udává, kolik procent původního světla prošlo na senzor. Pokud nedochází k absorpci záření při jeho průchodu vzorkem, potom má transmittance hodnotu 100 %. Transmittanci vypočteme vzorcem:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\epsilon xc} [-] \quad (1.1)$$

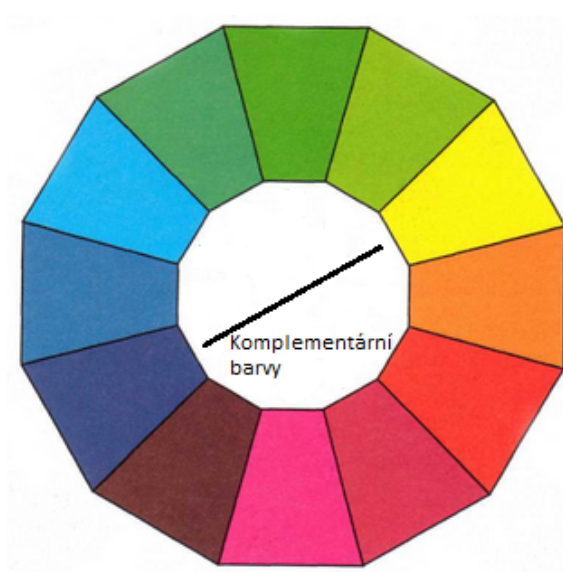
kde I je intenzita světla po průchodu látkou a I_0 původní intenzita světla. Závislost transmitance na koncentraci je exponenciální, což komplikuje sestavení kalibrační křivky pro měření. Tento problém řeší veličina absorbance, jejíž závislost na koncentraci je lineární. [13]

Absorbance

Absorbance udává, kolik světla je pohlceno měřeným vzorkem. Veličinu vypočteme jako logaritmus převrácené hodnoty transmitance.

$$A = \log \frac{1}{T} = \log \frac{I_0}{I} [-] \quad (1.2)$$

Absorpce v oblasti viditelného světla způsobuje barevnost látek. Roztok určité barvy absorbuje barvu doplňkovou. Doplnkové barvy můžeme jednoduše zjistit na základě komplementárního barevného kruhu. Například pokud bude mít roztok modrou barvu, bude pohlcovat vlnové délky odpovídající žluté barvě, viz obrázek 1.2. Průhledné a bezbarvé látky mají malou absorpci světla všech vlnových délek a proto bude mít absorbance velikost 0. [13]



Obr. 1.2: Komplementární barevný kruh

Vyšší koncentrace roztoku mají negativní vliv na přesnost a správnost měření absorbance. Při značném poklesu intenzity prošlého světla může být výsledek měření zkreslen nižší citlivostí senzoru. Závislost mezi absorbancí a koncentrací vyjádříme Lambert-Beerovým zákonem:

$$A = \epsilon \cdot x \cdot c [-] \quad (1.3)$$

kde A je absorbance, x [cm] je dráha, kterou světlo musí projít přes vzorek na senzor a c [mol · l⁻¹] je koncentrace vzorku. Koeficientem úměrnosti ve vztahu je molární absorpční koeficient ϵ [l · mol⁻¹ · cm⁻¹]. Veličina ϵ závisí na vlnové délce světla, na rozpuštěné látce a rozpouštědle.

Při dopadu světelného paprsku na kyvetu dochází k odrazu světla na kyvetě a na optických členech přístroje. Z důvodu nemožnosti měřit intenzitu původního světla, které vstupuje do kyvety, musíme nezávisle aplikovat Lambert-Beerův zákon na kyvetu s rozpouštědlem a na kyvetu s měřeným vzorkem. Získáme intenzity světla po průchodu rozpouštědlem (I') a po průchodu měřeným roztokem (I), které měříme jako výstupní napětí, ty jsou proporcionální k jednotlivým intenzitám světla. Absorbanci popíšeme následující rovnicí:

$$A = \log \left(\frac{I'}{I} \right) = \log \left(\frac{E'}{E} \right) \quad [-] \quad (1.4)$$

kde E' a E jsou výstupní napětí pro rozpouštědlo a roztok. [13, 16, 38]

Kalibrační křivka

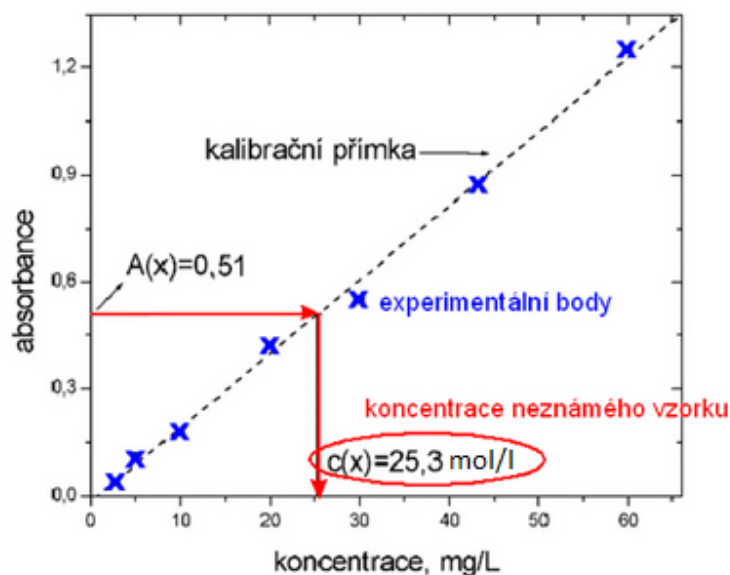
Koncentraci látek rozpuštěných v roztoku, můžeme vypočítat z rovnice 1.4 v případě, že známe hodnoty ostatních uvedených veličin, nebo použijeme kalibrační křivku. Kalibrační křivka vyjadřuje lineární závislost absorbance na koncentraci látky v roztoku. Metoda slouží k určení neznáme koncentrace látky ve vzorku.

Nejprve je potřeba si připravit kalibrační roztoky (standardy) látky, u které chceme zkoumat koncentraci. Příprava kalibračních roztoků se sestává ze dvou fází. V prvním kroku se připraví základní roztok z přesné navážky látky rozpuštěné ve známém objemu. Následně se odpipetují různé objemy základního roztoku do kyvet a objem kyvet se doplní předepsaným rozpouštědlem. Tímto způsobem se získá řada tří až sedmi kalibračních roztoků se známou koncentrací.

Měřením kalibračních roztoků určíme experimentální body, které proložíme kalibrační křivkou popisující závislost mezi absorbancí a koncentrací rozpuštěné látky. Čím vyšší počet kalibračních roztoků je použit, tím přesněji je určena závislost, která může být vyjádřena graficky (viz obrázek 1.3) nebo numericky (tabulkou). [36] Matematicky popíšeme kalibrační křivku pomocí rovnice přímky:

$$absorbance = koncentrace \cdot k + q \quad (1.5)$$

kde k je směrnice přímky, q posun přímky.



Obr. 1.3: Kalibrační křivka (převzato z [36])

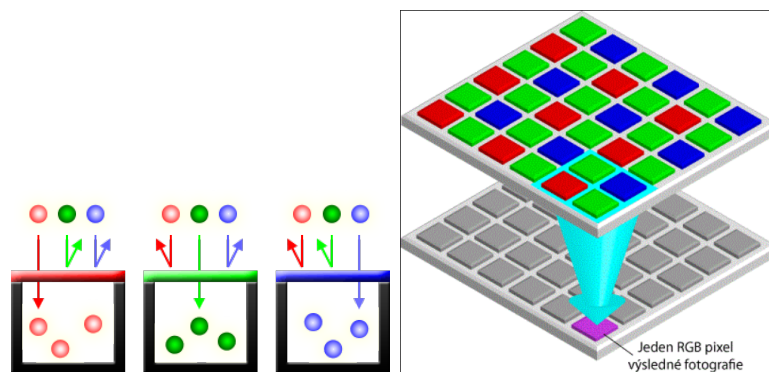
1.1 Kolorimetrie

Kolorimetrie je druh absorpční spektrální analýzy využívaný k objektivnímu stanovení koncentrace barevného roztoku. Pokud zkoumaná látka v roztoku není barevná, musíme přidat do roztoku látku, která barevně reaguje se zkoumanou látkou.

Při průchodu polychromatického, viditelného světla vzorkem dochází k selektivní absorpci světla, při níž jsou různá spektra viditelného světla pohlcována různě. Prošlé světlo zachytí na trichromatický (RGB) senzor. Trichromatické systémy jsou založeny na aditivním míchání barev. Jakoukoliv barvu lze získat jako směs tří nezávislých základních barev – červené, zelené a modré. Senzor je tvořen maticí fotodiód typu CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) nebo CCD (Charge-Coupled Device), přičemž je každá fotodioda potažena jedním ze tří odlišných chromatických filtrů normálně propouštějících červenou, zelenou nebo modrou část optického spektra, viz obrázek 1.4 (a). V této práci bude využit RGB senzor s polem fotodiód typu CCD, vzhledem k jeho kvalitativně lepším vlastnostem oproti CMOS.[16, 33, 38]

Nejčastější uspořádání barevných filtrů na poli fotodiód se nazývá Bayerova maska, sestávající se z buněk o rozměru 2x2 čtvercových filtrů. Každá buňka obsahuje dva diagonální zelené filtry, jeden červený a jeden modrý filtr. Jednotlivé primární barvy nemají v masce stejné zastoupení, protože lidské oko je více senzitivní na zelené světlo než na červené a modré světlo. Nadbytečné množství zelených filtrů v masce vede ke snížení zašumění signálu v zeleném kanálu. Jedna buňka po-

skytuje hodnoty intenzity pro všechny tři základní barvy, jenž se sloučí do výsledné barvy, která odpovídá jednomu pixelu na senzoru, viz obrázek 1.4 (b). [26, 32]



(a) Princip pronikání světla přes chromatické filtry na pole fotodiod (převzato z [26])
(b) Bayerova maska (převzato z [32])

Obr. 1.4: Detekce signálu po průchodu vzorkem

1.2 Fyzikální veličiny světelných jevů

Svítivost

Svítivost je prostorová hustota světelného toku Φ vyzářeného bodovým zdrojem do malého prostorového úhlu Ω . Jednotka svítivosti je kandela [cd].

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} [\text{cd}] \quad (1.6)$$

Intenzita osvětlení

Intenzita osvětlení udává hustotu světelného toku Φ , který dopadá na plochu o obsahu S . Jednotka intenzity osvětlení je lux [lx]. [6]

$$E = \frac{\Phi}{S} [\text{lx}] \quad (1.7)$$

2 TECHNOLOGIE NFC

Vzhledem k předem stanovené podmínce bezdotykového ovládání kolorimetru, bude v této části práce podrobněji rozebrána modulární technologie rádiové bezdrátové komunikace mezi elektrickými zařízeními, near-field communication (NFC). Near-field communication, v češtině Komunikace v blízkém poli, využívá vysokofrekvenčních proměnných magnetických polí ve frekvenčním rozsahu 13,56 MHz. U NFC technologie se přijímací anténa nachází v blízkém poli vysílací antény a komunikace dvou zařízení probíhá na velmi malé vzdálenosti do 20 cm. Tato technologie je charakteristická svou nízkou přenosovou rychlostí dat, jelikož je na krátké vzdálenosti dvou NFC zařízení využita jen velmi malá část vlny, jejíž vlnová délka je 22 m. Vlnová délka je vypočtena pro frekvenci 13,56 MHz: [12, 21]

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99 \cdot 10^8}{13,56 \cdot 10^6} = 22,1 \text{ m} \quad (2.1)$$

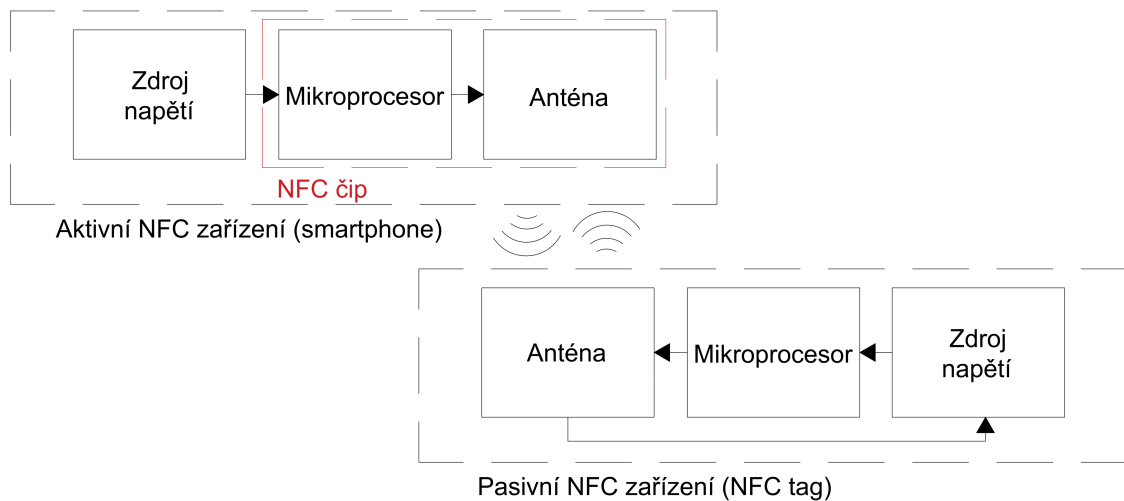
2.1 Dělení NFC zařízení

Podle funkce dělíme jednotlivá NFC rozhraní do dvou operačních modů – aktivního a pasivního. Aktivní zařízení mohou číst a shromažďovat informace zprostředkované jiným NFC zařízením. Takovým NFC zařízením může být chytrý telefon (dále jen smartphone), který za účelem čtení a spouštění mobilního kolorimetru budeme používat. NFC zařízení v aktivním modu potřebuje pro výkon své funkce zdroj energie. Pro komunikaci s dalším zařízením na krátkou vzdálenost používá proud do 15 mA. Všechna zařízení, která iniciují komunikaci jsou z pravidla aktivní zařízení.

Pasivním zařízením může být například NFC tag, tedy čip, který obsahuje informace čitelné pro ostatní zařízení. Samotné pasivní NFC zařízení žádné informace číst nemůže. NFC tagy můžeme rozdělit podle způsobu jejich napájení na pasivní a aktivní NFC tagy. Pasivní NFC tagy nemají svůj vlastní zdroj energie, proto je veškerá energie, potřebná pro spuštění elektrického obvodu a obdržení informace z NFC tagu, získána z aktivního NFC zařízení.

Pasivní NFC tagy mohou, vzhledem k limitujícímu zdroji energie, vysílat pouze do malé vzdálenosti, čímž se klade požadavek na podstatně kratší vzdálenost od čtecího zařízení, než by tomu bylo u aktivních NFC tagů, které jsou napájeny z baterie.

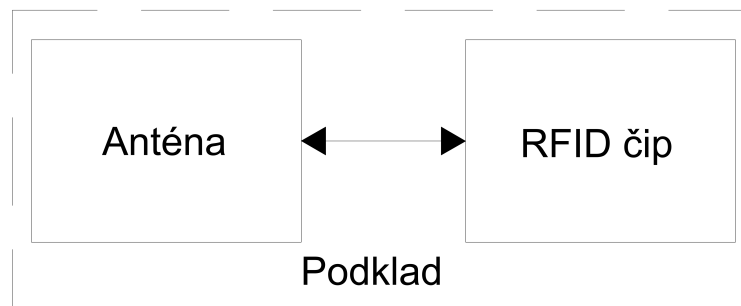
Při aplikaci NFC technologie v této práci bude využit smartphone, jako aktivní NFC zařízení, a přijímač bude pasivní NFC tag, jako pasivní NFC zařízení, viz obrázek 2.1. [12, 21, 28]



Obr. 2.1: Schématické znázornění NFC zařízení a způsobu jejich napájení

2.2 NFC Tagy

NFC tagy jsou pasivní koncová zařízení, která komunikují s aktivním zařízením. Každý tag je tvořen třemi komponentami: RFID čipem, anténou a podkladem, viz obrázek 2.2.



Obr. 2.2: Schéma NFC tagu

RFID čip se skládá z RF přední koncovky, základních obvodů pro zpracování signálu, z logického členu pro implementaci požadavků algoritmu a z electrically erasable, programmable, read-only memory (dále jen EEPROM) zajišťující paměť pro ukládání dat.

RF přední koncovka zajišťuje především regulaci napětí a generuje potřebné napětí pro celý obvod z elektromagnetického pole vytvářeného aktivním NFC zařízením. RF přední koncovka je spojena s anténou cívky.

Logický člen realizuje komunikační protokol, modulaci a demodulaci signálu, kódování a dekódování dat a proti kolizní algoritmy.

EEPROM je typ paměti nevyžadující stálé napájení pro uchování dat a v důsledku toho mohou být data uchována až po dobu několika let i bez zdroje napětí. [7, 21]

Anténa je největší část NFC tagu a je přímo napojena na integrovaný obvod NFC tagu. Z důvodu správného naladění antény NFC tagu, musí anténa pracovat na přenosové frekvenci aktivního NFC zařízení, která je 13,56 MHz. Frekvence, na které pasivní tag pracuje, je určena geometrií antény. Anténa může být tvarována mimo základních tvarů jako je spirálová cívka, jednoduchý dipól, dvojitý dipól, také do jiných tvarů podle specifických požadavků. Antény jsou většinou tvořeny tenkými měděnými proužky, které jsou nanесeny na podklad leptáním mědi, lisováním folií nebo sítotiskem. [7]

Funkcí **podkladu** NFC tagu je držet všechny části pohromadě. Požadavkem na podkladový materiál je jeho nevodivost. Na kovovém povrchu se indukují takzvané vířivé proudy, které mohou výrazně tlumit magnetický tok v blízkosti kovového povrchu a tím snižovat velikost magnetické indukce v cívce. Tento efekt je nežádoucí v induktivně spojených systémech, a proto se jako podkladový materiál používají látky jako polymery, PVC, PET a polyestery. Materiál podkladu musí zajistit hladký tiskový povrch pro nanесení antény, odolnost a stabilitu za různých provozních podmínek a mechanickou ochranu antény, čipu a jejich propojení. V procesu navrhování antény musí být brán v potaz podkladový materiál, protože může ovlivnit navrženou frekvenci antény. [7, 12]

Orientace NFC tagu

Důležitým parametrem pro indukci napětí v cívce je orientace přijímací antény vůči vysílací anténě. Špatná orientace antén vede k výraznému poklesu operační vzdálenosti nebo k úplné nemožnosti číst signál v případě, že je tag orientován kolmo na vysílací cívku. Optimální orientace NFC tagu je získána v případě, že jsou obě antény paralelně na sebe a střed jedné cívky je přímo nad středem druhé cívky. [21]

2.3 NFC architektura a standardy

Technologie NFC je postavena na funkčních vrstvách, přecházejících z fyzického do softwarového prostředí. Nejnižší vrstva je tvořena CPU (Central Procession Unit), MCU infrastrukturou, komunikačním rozhraním a radiovými obvody. Střední vrstva

obsahuje datové pakety podle mezinárodních standardů a generování příkazů. Nejvyšší vrstva je složena z NDEF zpráv a NDEF záznamů, které jsou většinou implementovány v softwaru a jsou přístupné z uživatelského rozhraní.[37]

Mezinárodní standardy

Mezinárodní standardy ISO/IEC 14443-2,3,4 a ISO/IEC 15693 definují komunikační módy pro rozhraní a protokol pro komunikaci v blízkém poli. Tyto standardy upřesňují modulační schémata, kódování, rychlost přenosu, formát RF rozhraní a definují přenosový protokol obsahující aktivační protokol a metody výměny dat. [29]

Rozdílem mezi zmíněnými standardy je kromě vzdálenosti, na které může NFC zařízení komunikovat s dalším NFC zařízením, také počet odlišných částí standardu. Vzdálenost, na kterou mohou komunikovat zařízení podporující ISO 14443 je do 10 cm, ačkoliv se tato vzdálenost může lišit v závislosti na požadavcích na napájení, velikosti paměti a procesoru dalšího NFC zařízení. Standard ISO 15693 byl vyvinut pro bezkontaktní karty s možností komunikovat na větší vzdálenosti než 10 cm, v zapisovacím modu však maximálně do 35 cm. Standard ISO 14443 má 4 části, ISO 15693¹ má 3 části:

1. Fyzické charakteristiky - popisují rozměry tagu.
2. Rozhraní a iniciace - definuje frekvenci, modulaci, kódování dat a rychlosti přenosu dat pro komunikaci mezi čtecím zařízením a přijímačem.
3. Antikolizní a přenosový protokol - definuje parametry zabráňující kolizi v případě, že se do čtecího magnetického pole dostane více přijímačů. Rovněž popisuje protokol, sadu příkazů a další parametry potřebné k iniciaci komunikace mezi čtecím zařízením a přijímačem. [39]

Dalším ze standardů, který je potřeba zmínit, je ISO 18000-3:2010. Tento standard byl vyvinut s cílem poskytnout rámec pro definování společných komunikačních protokolů pro mezinárodně použitelné kmitočty RF identifikace. ISO 18000-3 má stejně jako ISO 15693 tři provozní režimy (čtecí, ověřovací a zapisovací) a poskytuje fyzickou vrstvu, systém řízení kolizí a hodnoty protokolů pro řízení RFID.[19]

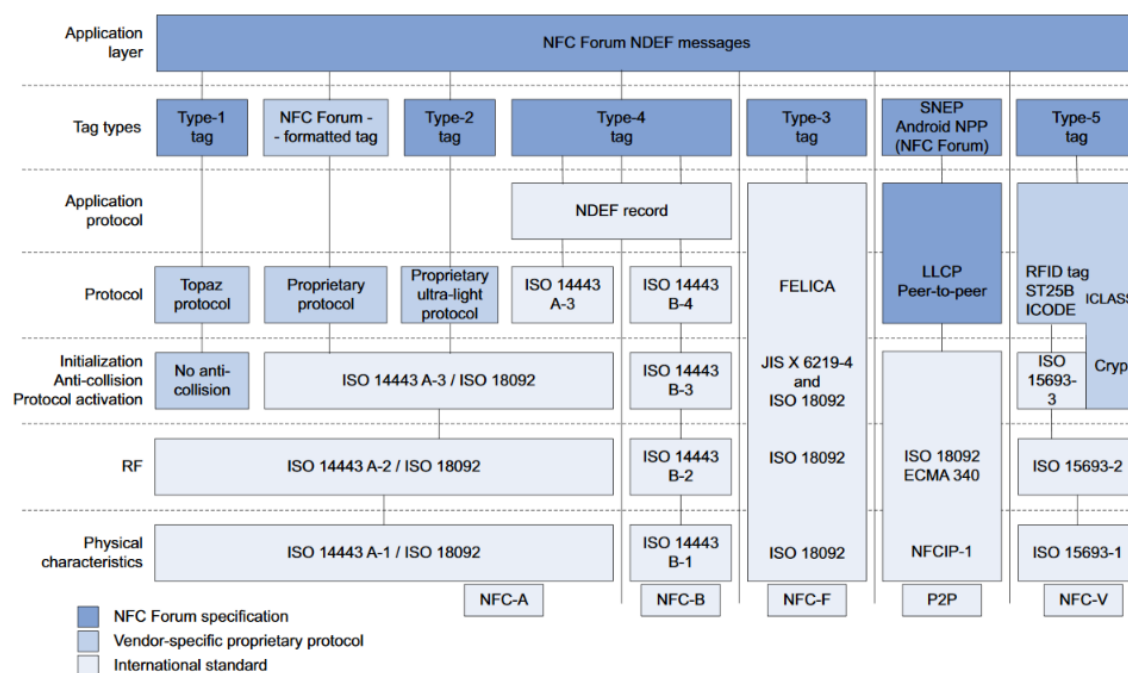
NDEF

Komunita zabývající se NFC technologií se sdružuje v neziskové organizaci NFC forum. Kromě standardů tato organizace poskytuje technické specifikace, typy NFC tagů, formát pro výměnu dat a další. NFC forum definovalo společný formát dat nazvaný NDEF (NFC Data Exchange Format) a přidalo specifikace, například SNEP

¹ISO 15693 je novější standard, který definuje komunikaci pasivního NFC tagu s dalšími NFC zařízeními. NFC zařízení, které komunikuje s tímto tagem, musí podporovat stejný standard.

(Simple NDEF Exchange Protocol) pro umožnění posílání a přijímání zpráv mezi dvěma NFC aktivními zařízeními v peer-to-peer módu. Dalšími módy, které jsou využívány v souvislosti s NFC zařízeními jsou: mód emulace karty a zapisovací/čtecí mód. [37]

NDEF představuje aplikační vrstvu všech specifikací a standardů, viz obrázek 2.3. Vzhledem k dodržování formátu pro výměnu dat NDEF při komunikaci, mohou zařízení, která by jinak neměla smysluplné znalosti o sobě ani o společném jazyce, sdílet data organizovaným a vzájemně srozumitelným způsobem. Tento standardizovaný datový formát je používán pro výměnu informací mezi NFC zařízením a dalším NFC zařízením nebo NFC tagem. Datový formát se skládá z NDEF zpráv a NDEF záznamů. NDEF zprávy jsou základním přenosovým mechanismem pro NDEF záznamy, kde každá zpráva obsahuje minimálně jeden záznam. NDEF záznamy obsahují konkrétní přenášené informace, jejich typ, velikost a volitelně také identifikátor. [1]



Obr. 2.3: Přehled NFC standardů a specifikací (převzato z [37])

2.4 Fyzikální principy RFID systémů

Přenos dat a energie pomocí technologie Radiofrekvenční identifikace (RFID), do kterého spadá i NFC, je zajištěn pomocí magnetických indukcí v cívkách. Proto

se tato kapitola zaměří na fyzikální principy magnetického jevu z hlediska RFID systémů.

Radiofrekvenční identifikace má svou podstatu v elektromagnetickém vlnění, které je tvořeno, navzájem k sobě kolmou, elektrickou a magnetickou složkou. Elektrická pole jsou využívána pouze u kapacitního přenosu dat, proto nebudou dále řešena.

Magnetický indukční tok

Magnetický indukční tok je fyzikální veličina popisující celkový tok magnetické indukce procházející plochou uvnitř cívky.

$$\Phi = B \cdot A \text{ [Wb]} \quad (2.2)$$

kde B je hustota magnetické indukce a A je plocha vymezená závitů cívky.[12]

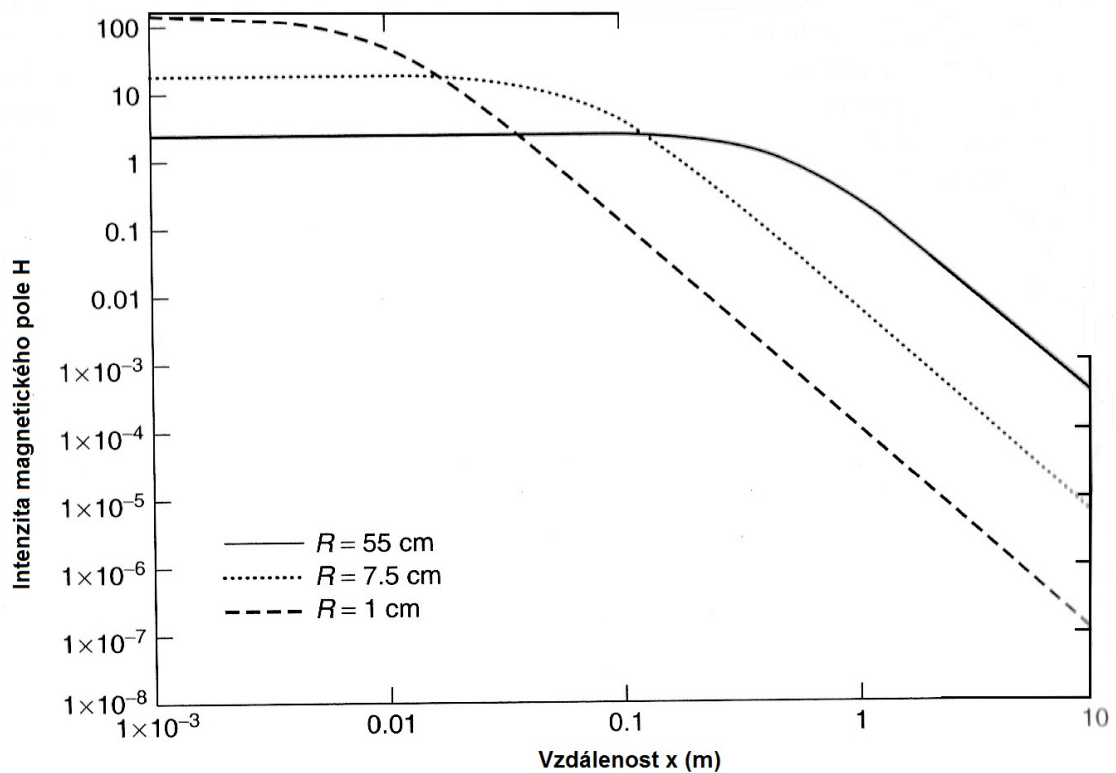
Intenzita magnetického pole

Pokud cívkou prochází elektrický proud, vzniká v okolí cívky magnetické pole, jehož intenzita klesá se vzrůstající vzdáleností od centra cívky. Intenzita magnetického pole je zároveň velmi závislá na poloměru použité cívky a zůstává konstantní do určité vzdálenosti od cívky, kde rychle klesá, viz obrázek 2.4. Při návrhu antény proto musejí být tyto parametry uvažovány.

Pro výpočet intenzity magnetického pole, u cívek používaných ve vysílacích anténách induktivně spojených systémů, bude použita následující rovnice:

$$H = \frac{I \cdot N \cdot R^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \text{ [A} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (2.3)$$

kde I je proud přivedený na cívku, N počet závitů, R je poloměr cívky a x je vzdálenost od centra cívky. [12]



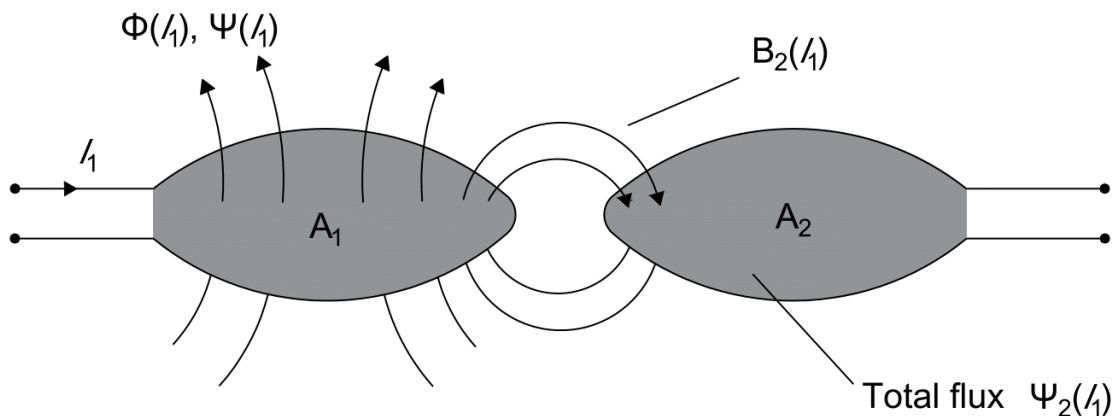
Obr. 2.4: Závislost intenzity magnetické indukce na vzdálenosti x od centra cívky a poloměru cívky R (převzato z [12])

Vzájemná indukčnost

Vzájemná indukčnost je jev, při kterém vzniká ve vodiči indukované napětí působením časově proměnlivého magnetického toku jiného vodiče. Pokud se 2. cívka (L_2), kterou neprotéká proud, nachází v blízkosti 1. cívky (L_1), přes kterou proud protéká, potom bude 2. cívka (L_2) podléhat části celkového magnetického toku protékajícího skrz plochu 1 (A_1) vyhrazenou 1. cívkou (L_1), viz obrázek 2.5.

Pokud je magnetické pole homogenní, vzájemná induktance M_{12} mezi dvěma cívkami může být vypočtena podle rovnice:

$$M_{12} = \frac{B_2(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot H(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} \text{ [H]} \quad (2.4)$$

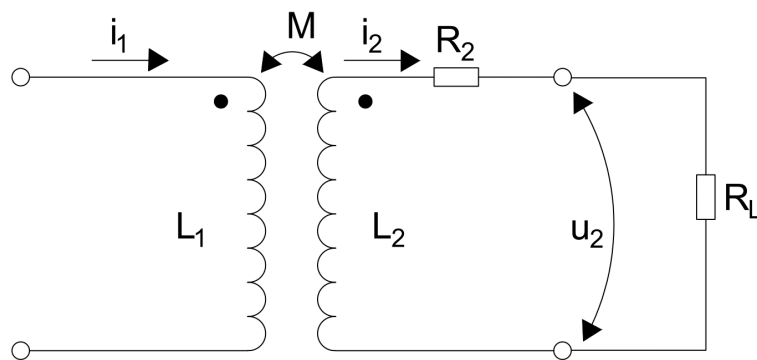


Obr. 2.5: Vzájemná indukce cívek (převzato z [12])

Faradayův zákon

Každá změna magnetického indukčního toku Φ za dobu Δt vyvolá ve vodiči indukované elektromotorické napětí.

Časově proměnné magnetické pole 1. cívky (L_1) indukuje napětí (u_2) v 2. cívce (L_2) podle vzájemné indukčnosti M . Tok proudu vytváří dodatečný pokles dodatečný pokles napětí v důsledku odporu cívky přijímače (R_2). Odpor zátěže je označen R_L , viz obrázek 2.6.



Obr. 2.6: Schéma obvodu indukčně spojených cívek (převzato z [12])

Indukované napětí na cívce přijímače bude vypočteno podle rovnice: [12]

$$u_2 = j\omega M \cdot i_1 - j\omega L_2 \cdot i_1 - i_2 R_2 \text{ [V]} \quad (2.5)$$

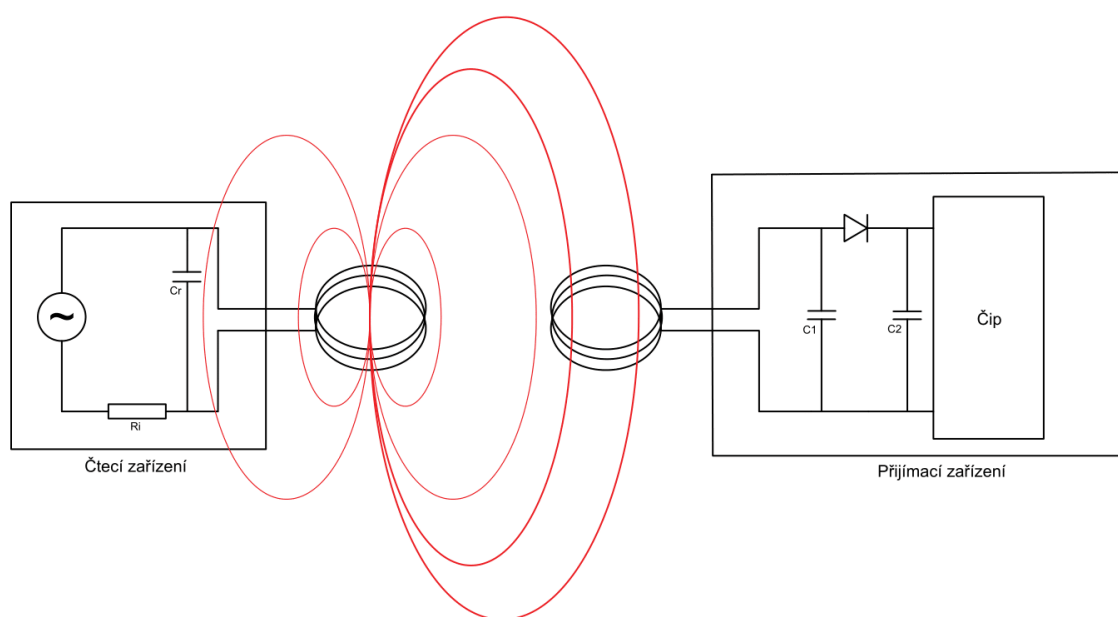
Rezonance

Cívka aktiního zařízení (dále jen čtecí zřízení) je paralelně spojena s kondenzátorem C_r o kapacitě, která společně s indukčností cívky vytvoří paralelní rezonanční obvod s rezonanční frekvencí odpovídající nosné frekvenci modulovaného signálu čtecího zařízení.

Anténou pasivního přijímače proniká část emitovaného magnetického pole, přitom je generováno napětí v anténě přijímače. Cívka přijímače a kondenzátor C_1 tvoří rezonanční obvod, který je naladěn na nosnou frekvenci čtecího zařízení, viz obrázek 2.7. Vzhledem k rezonančnímu přizpůsobení paralelního rezonančního obvodu, bude napětí indukované v cívce přijímače dosahovat jeho maxima. Rezananční frekvence paralelního rezonančního obvodu je vypočtena pomocí Thomsonovy rovnice: [12]

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \text{ [Hz]} \quad (2.6)$$

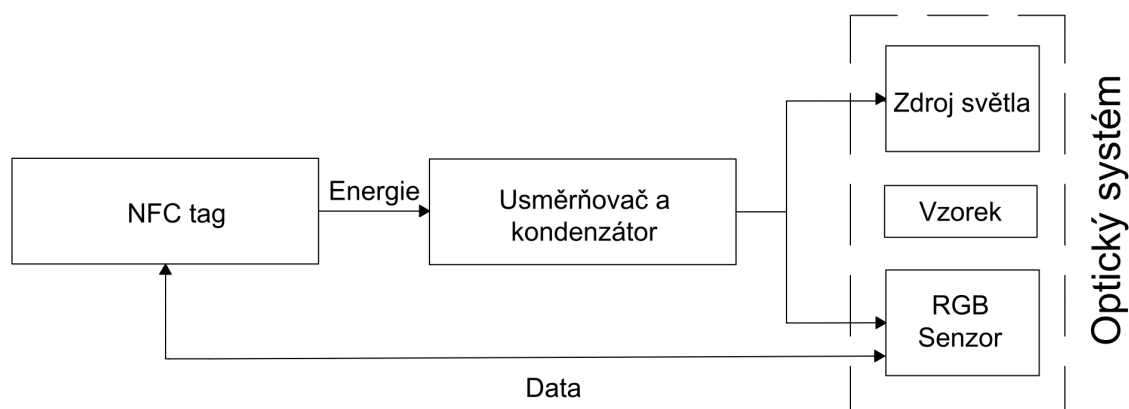
kde L je indukčnost cívky a C je kapacita kondenzátoru.



Obr. 2.7: Obecné schéma indukčního přenosu energie (převzato z [12])

3 VLASTNÍ NÁVRH KOLORIMETRU

Původní myšlenkou této práce bylo navrhnout a zkonstruovat mobilní a bezbateriový kolorimetr, který by pro svou činnost využíval proud indukovaný na anténě NFC tagu. Z důvodu nízkého proudu z NFC tagu by byl proud kumulován v kondenzátoru po určitou časovou periodu. Po nabití by se kondenzátor vybil do obvodu optického systému, kde by napájel LED a RGB senzor. Senzor by poté odesílal naměřená data do EEPROM paměti NFC tagu, odkud by mohl být čten aktivním NFC zařízením (smartphonem), viz obrázek 3.1.



Obr. 3.1: Blokové schéma původně navrženého kolorimetru

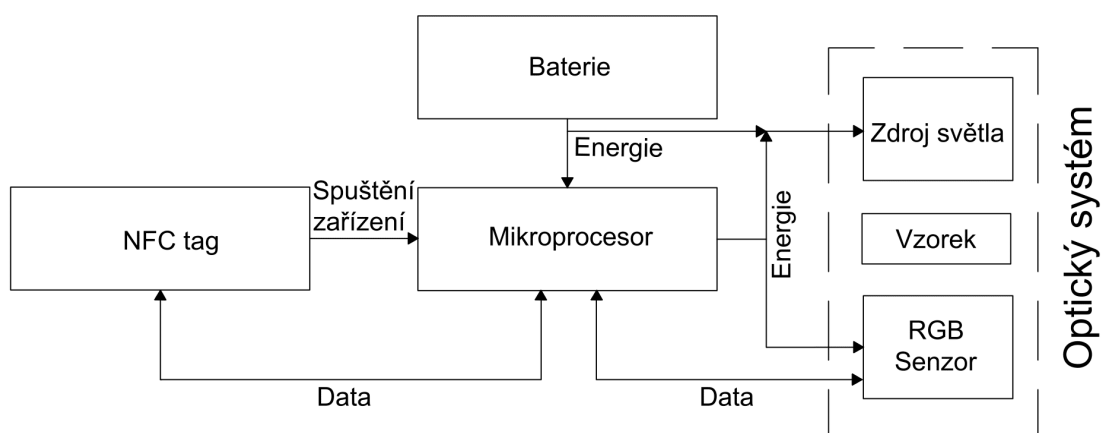
Při snaze realizovat toto zadání však bylo objeveno několik problémů, které byly technicky neřešitelné. NFC tag se chová jako měkký zdroj napětí, má vysoký vnitřní odpor a hodnota napětí na zatíženém zdroji nedosahuje ani 3,3 V. Napájet kondenzátor s potřebnou kapacitou pro zajištění zdroje napětí pro obvod, by mohlo způsobit poškození NFC tagu. Navíc proud tekoucí do obvodu z V_{OUT} pinu je velmi nízký (nelze změřit laboratorním multimetrem) a proměnlivý v čase. V další fázi řešení byla zaměněna LED za halogenovou žárovku, která je energeticky náročnější. Výhody použití halogenové žárovky budou zmíněny níže při popisu optického systému.

Kolorimetr měl být původně plně ovládám přes aplikaci vytvořenou ve vývojovém prostředí MIT App Inventor 2. Toto prostředí je však pro vývoj NFC aplikací nedostatečné, neboť neumožňuje práci s NFC tagem využívajícím mezinárodní standard ISO 15693. Tento standard je využívaný tagem vybraným pro diplomovou práci.

NFC tag měl iniciovat výměnu dat mezi ním a senzorem, tím že pošle potřebné synchronizační údaje a vytvoří hodinový signál (bude vysvětleno dále) společný pro obě zařízení. NFC tag však, navzdory schématu uvedeného v příslušné technické

dokumentaci v sekci 3.1, nevytváří hodinový signál a naopak vyžaduje, aby mu byl tento signál poskytnut jiným zařízením. Zde však narážíme na problém, že senzor není schopen hodinový signál generovat a tedy budeme muset do obvodu zapojit prvek, který tuto schopnost má. Více o tomto problému bude uvedeno v kapitole 8.

Vzhledem k uvedeným důvodům bylo koncepční řešení kolorimetru pozměněno. Kolorimetr bude obsahovat mimo NFC tagu a optického systému, také baterii zajišťující dostatečné napětí pro mikroprocesor ovládající měřící část kolorimetru a pro zdroj světla optického systému. Důraz přitom bude kladen na úsporné energetické řešení celého systému. Mikroprocesor bude kromě řízení ostatních prvků, také poskytovat hodinový signál. Blokové schéma kolorimetru po aplikování změn je na obrázku 3.2.



Obr. 3.2: Blokové schéma nově navrženého kolorimetru

3.1 Koncepční řešení kolorimetru

Cílem této práce je vytvořit zařízení na měření koncentrace barevných roztoku – kolorimetr. Jednoduchý kolorimetr bude složen z NFC tagu, zdroje napětí, mikroprocesoru, optického systému a krabičky, ve které bude uložen veškerý hardware.

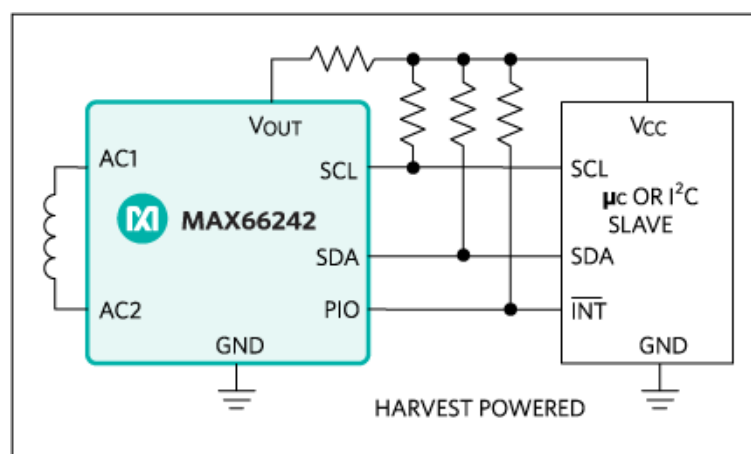
NFC tag

Jako komunikační prvek kolorimetru bude použit integrovaný obvod MAX66242, který se nachází na podkladu s anténou rezonančně přizpůsobenou na frekvenci 13,56 MHz a dohromady tvoří pasivní NFC tag. MAX66242 je kompatibilní s mezinárodními standardy ISO 15693 a ISO 18000-3. Integrovaný obvod obsahuje 4096bitovou uživatelskou EEPROM paměť a integrovanou 32bitovou SRAM vyrovnávací

paměť.

Pro komunikaci s dalšími procesory používá sběrnici I²C, kde komunikace probíhá po dvou linkách. První linka slouží pro časovou synchronizaci (zapojena do pinu SCL), druhou linkou je veden signál (zapojena do pinu SDA), viz obrázek 3.3. Oba dráty jsou připojeny ke zdroji napětí NFC tagu přes pull-up rezistory¹. Výhodou této sběrnice je jednoduchý vztah *master/slave*² mezi jednotlivými komponentami. MAX66242 může pracovat jako *slave* nebo *master* komponenta. V případě, že se chová jako *master*, může sbírat informace z připojených senzorů nebo periferních zařízení. Každé zařízení, které je připojeno ke sběrnici je adresované prostřednictvím softwaru jedinečnou adresou. Při působení jako *master* může MAX66242 sloužit jako prostředník mezi senzorem optického systému a NFC čtecím zařízením.

V případě, že je okolní RF pole dostatečně silné, může MAX66242 shromažďovat energii, která může být použita k napájení nízko energetických, externích komponent (z V_{OUT} pinu), viz obrázek 3.3.[24]



Obr. 3.3: Schématické zapojení MAX66242 v aplikaci pro napájení externích komponent(převzato z [24])

Arduino UNO

Operační a řídicí jednotkou celého kolorimetru bude uživatelsky programovatelná, open-source³ elektronická platforma Arduino. Uživatelsky jednoduchý hardware Ar-

¹Přes pull-up rezistory je přivedeno napětí na datové linky. Napětí udržuje stav HIGH na vodičích v klidovém stavu.

²Označení master/slave je v odborné praxi zažitá a bude dále v textu použito v původním anglickém znění pro označení komponent "řídících" a "řízených".

³Open-source je označení pro něco, co mohou lidé modifikovat a sdílet, protože původní návrh je veřejně přístupný. Veřejnosti je tak umožněna neomezená tvorba.

duina je založen na mikroprocesoru s programovatelnými piny a na softwaru s vlastním programovacím prostředím. Arduino implementuje programovací jazyk Wiring, který je založen na jazyku C. Wiring je open-source programovací rámec pro mikroprocesory. Vývojové desky Arduino jsou dostupné v několika provedeních, ze kterých si může uživatel volit podle požadovaných parametrů. [17]

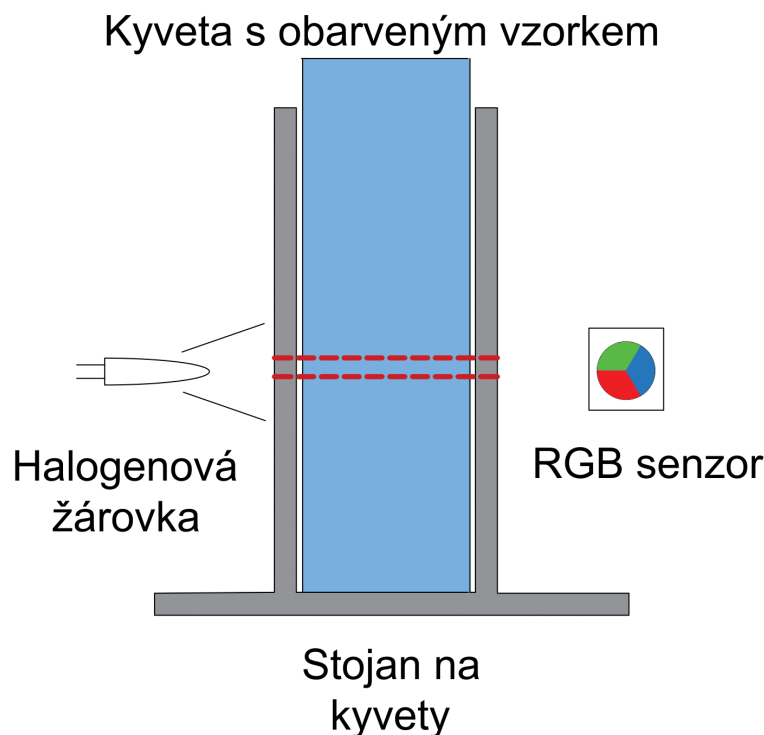
Pro účel práce bude použita vývojová deska Arduino UNO. Arduino UNO je deska o rozměrech 68,6 x 53,4 mm využívající jako výpočetní jednotku mikroprocesor ATmega328P od firmy Atmel. Desková řada obsahuje 14 digitálně vstupně/výstupních pinů (I/O), z toho 6 pinů využívá techniku PWM (Pulse Width Modulation), a 6 analogových vstupů. Nalezneme zde paměť EEPROM o velikosti 1 kB, paměť typu flash o velikosti 32 kB, která uchovává v ní uložená data a firmware i po vypnutí zdroje napětí, a paměť typu SRAM o velikosti 2 kB, která je rychlá a po vypnutí zdroje napětí se vymazává. USB konektor slouží k propojení počítače s Arduinem UNO. Technické parametry vývojové desky Arduino UNO jsou uvedeny v tabulce 3.1.[5]

Tab. 3.1: Výrobce stanovené parametry Arduino UNO (hodnoty převzaty z [5])

Mikroprocesor	ATmega328P
Provozní napětí	5 V
Vstupní napětí	7-12 V
Flash paměť	32 kB (z toho 0,5 kB pro bootloader)
SRAM paměť	2 kB
EEPROM paměť	1 kB
Pracovní frekvence	16 MHz
Analogové vstupní piny	6
Digitální I/O piny	14
Digitální PWM I/O piny	6
Stejnoseměrný proud na I/O piny	20 mA
Stejnoseměrný proud na pin 3,3V	50 mA
Rozměr vývojové desky	68,6 x 53,4 mm

Optický systém

V následujícím oddíle bude popsán princip fungování a všechny části optického systému, který je schématicky znázorněn na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Schéma optického systému kolorimetru

Zdrojem světla bude **halogenová žárovka**, která vyzařuje na všech vlnových délkách viditelného světla. Další výhodou je její dlouhá životnost a vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou. Prostorový úhel, do kterého bude žárovka vyzařovat, je určen velikostí okénka ve stojanu na kyvety. Úhel vyzařování by měl být co nejmenší, abychom co nejvíce potlačili odrazy světla na hranách kyvety. Halogenová žárovka bude muset mít co největší svítivost a zároveň nízkou spotřebu energie. Tato žárovka vyzařuje velké množství tepla, které může při delším působení zapříčinit ohřátí okolí. V našem případě nehrozí ohřátí vzorku, protože měření, a tedy i rozsvícení žárovky, trvá jen krátkou dobu.

Nevýhodou halogenových žárovek je poměrně vysoký požadavek na vstupní napětí, který je v tomto případě 5,2 V. Při dlouhodobějším provozu při výrazně nižším napětí, než je potřebné, žárovka ztmavne. Pro naši aplikaci je požadované napětí příliš velké, protože zařízení bude obsahovat jen malý zdroj napětí o velikosti 2,4 V. Před žárovku bude nutné zařadit měnič napětí, který zvýší napětí z 2,4 V na hodnotu 5 V. [11]

Světlo prošlé obarveným **vzorkem** bude zachytáváno **RGB senzorem**. Volba RGB senzoru proběhla mezi dvěma produkty na základě požadavků, mezi které patří vysoká citlivost senzoru, nízká energetická náročnost, snímání spektra v oblasti světla apod. Porovnávané hodnoty parametrů jednotlivých senzorů byly převzaty

z příslušných technických dokumentací a jsou uvedeny v tabulce 3.2.

První senzor, VEML6040, snímá mimo červené, zelené a modré barvy, také bílou barvu pomocí fotodiod bez barevného filtru. Díky technologii FiltronTM, senzor detekuje spektrum shodné s barevným vnímáním člověka. Naměřené hodnoty jsou kódovány 16 bity pro každý kanál (R,G,B,W). Senzor používá pro komunikaci I²C rozhraní. [10]

ISL29125 je vysoce senzitivní, nízko energetický RGB senzor, který pro komunikaci s řídicí komponentou rovněž používá I²C rozhraní. Volitelný rozsah umožňuje uživateli optimalizovat citlivost senzoru na světlo podle potřeby konkrétní aplikace. V normálním režimu zařízení spotřebuje 56 μ A, v režimu vypnutí se spotřeba sníží na 0,5 μ A. Uživatel může také nastavit softwarově programovatelné prahy přerušení. Analogový signál z fotodiod je převeden integračním A/D převodníkem na digitální signál, který má rozlišení 12 nebo 16 bitů podle nastavení. [9]

Tab. 3.2: Porovnané hodnoty parametry RGB senzorů

Požadavek	VEML6040	ISL29125
Nízké pracovní napětí [V]	2,5 - 3,6	2,25 - 3,6
Nízký napájecí proud [μ A]	200	56 - 85
Vysoká citlivost ozáření RGB [počet/(μ W/cm ²)]	96, 74, 56	20, 18, 30
Max. citlivost na červenou, zelenou, modrou [nm]	650, 550, 450	620, 565, 485
Krátká doba konverze [ms]	-	101
Vysoká operační frekvence I ² C [kHz]	10 - 400	500
Krátká doba zadávání vstupních dat I ² C [ns]	300 - 90	30
Krátká doba nastavení vstupních dat I ² C [ns]	250 - 100	100

Na základě uvedených parametrů a konzultace s vedoucím a konzultantem práce byl vybrán senzor ISL29125.

Krabička

Optický systém bude uzavřen do plastové krabičky, tak aby nedocházelo k pronikání světla z vnějšího prostředí, což by ovlivnilo výsledek měření. Jednotlivé části kolorimetrického systému budou připevněny ke konstrukci, z důvodu zamezení posunů částí při manipulaci se zařízením.

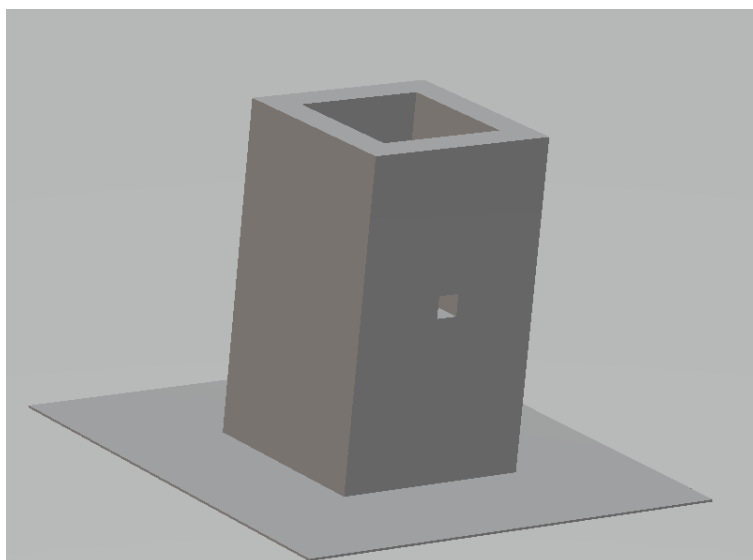
4 TESTOVÁNÍ SENZORU

Pro ověření, zda je vybraný senzor dostatečně senzitivní na prošlé světlo při kolorimetrickém měření, jsme provedli experiment. Ten spočíval v sestavení optického systému a použití uživatelsky programovatelné, elektronické platformy Arduino UNO.

Sestavení optického systému

V on-line webové aplikaci pro 3D modelování, Tinkercad, byl vytvořen model stojanu na kyvety. Tento stojan je tvořen 30 mm vysokým dutým kvádrem s čtvercovým půdorysem o rozměrech 18 x 18 mm postaveným na čtvercové podložce o rozměru 42 x 42 mm. Kvádr je z jedné strany otevřený pro vložení kyvety. Dutina má tvar kvádrů o výšce 29 mm a rozměrech kratších hran 12 x 12 mm. Stěny jsou 3 mm široké a na dvou protilehlých stěnách se nacházejí čtvercové otvory o rozměrech 2 x 2 mm. Otvory jsou umístěny přímo naproti sobě, čímž je zajištěno největší možné ozáření senzoru. Otvory jsou umístěny 15 mm od základny dutého kvádrů, viz obrázek 4.1. Navržený stojan byl vytisknut na 3D tiskárně z plastového materiálu a nedostatky vzniklé při tisku byly odstraněny pilníkem. Stojan je využit pouze při testování senzoru.

Do jednoho okénka byla připevněna halogenová žárovka a na protější stěnu RGB senzor ISL29125, tak aby se pole fotodiód nacházelo uprostřed okénka a dopadalo na něho dostatek prošlého světla v přímém směru.

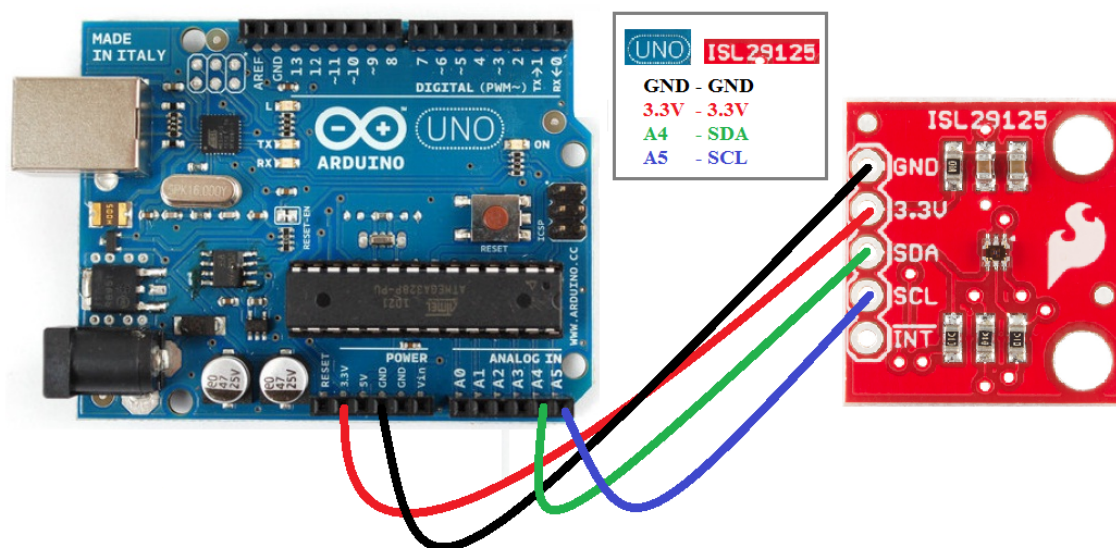


Obr. 4.1: 3D model samotného stojanu na kyvety

Řízení senzoru

Senzor byl napojen na vývojovou desku Arduino UNO, která zajišťuje řídicí jednotku experimentálního měření podle návodu [18]. Zemnicí pin GND a napájecí pin 3,3 V RGB senzoru propojíme s odpovídajícími piny na desce Arduino. I²C komunikaci vytvoříme zapojením linky SDA do pinu A4 a linky SCL do pinu A5 na vývojové desce, viz obrázek 4.2.

Firmware Arduino byl pro toto měření získán z open-source zdroje [18]. Před nahráním firmwaru na desku Arduino UNO, bylo potřeba snížit rychlost přenosu dat z nastavených 115200 na 9600 bitů za sekundu. Pro funkčnost programu je nutné stáhnout knihovnu *SparkFunISL29125.h* pro RGB senzor a vložit ji do adresáře s knihovnami. Vývojová deska je napojena přes USB kabel na počítač, kde po otevření sériového monitoru můžeme sledovat výpis tří hodnot odpovídající třem složkám prošlého světla. Rychlost výpisu hodnot na obrazovku můžeme měnit přenastavením velikosti doby prodlevy po každém výpisu. Hodnoty vypisované na sériovém monitoru byly v hexadecimální (šestnáctkové) soustavě a pro další analýzu musely být konvergovány do decimální soustavy. Halogenová žárovka byla během testovacího měření napojena na zdroj napětí 5 V.



Obr. 4.2: Vývojová deska Arduino UNO v zapojení se senzorem ISL29125 (převzato z [18])

Příprava vzorků pro měření

Pro účel práce byl vytvořen základní roztok přidáním zelené akrylové barvy s metalickými pigmenty do odměrné baňky s destilovanou vodou. Rozptýlené metalické

pigmenty bylo potřeba nechat usadit na dno odměrné baňky po dobu dvou dnů, aby nedošlo jejich vlivem ke zkreslení výsledků měření. Pro vytvoření základního roztoku nebylo potřeba rozpouštět látku o známe hmotnosti v roztoku o známém objemu, abychom znali jeho přesnou koncentraci. Základní roztok měl maximální sytost akrylové barvy a z něho byla vytvořena řada 5 kalibračních roztoků ředěním roztoku destilovanou vodou, viz obrázek 4.3. Ředění probíhalo pipetováním základního roztoku do prázdných kyvet a následným doplněním objemu kyvety destilovanou vodou. Vznikly kalibrační roztoky obsahující základní roztok v poměru 0,2 až 1 s rozdílem 0,2 v každé dílčí kyvetě. Optické kyvety potom byly uzavřeny parafinovou folií zabráňující úniku látky.



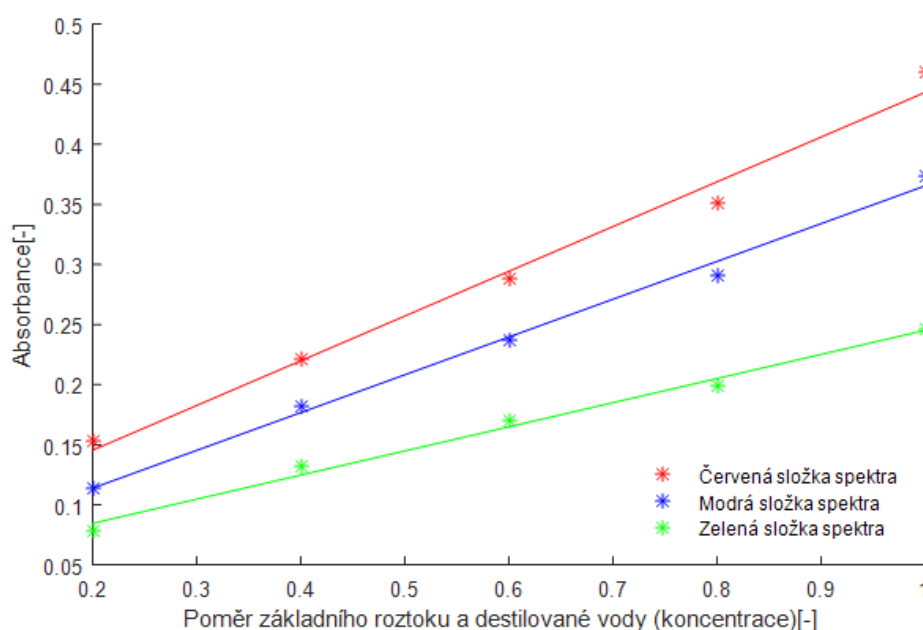
Obr. 4.3: Kalibrační roztoky připravené pro účel práce

Připravené kalibrační roztoky byly postupně vkládány do vytvořeného stojanu na kyvety a naměřené hodnoty vepsány do tabulky 4.1.

Tab. 4.1: Použité koncentrace kalibračních roztoků a naměřené hodnoty

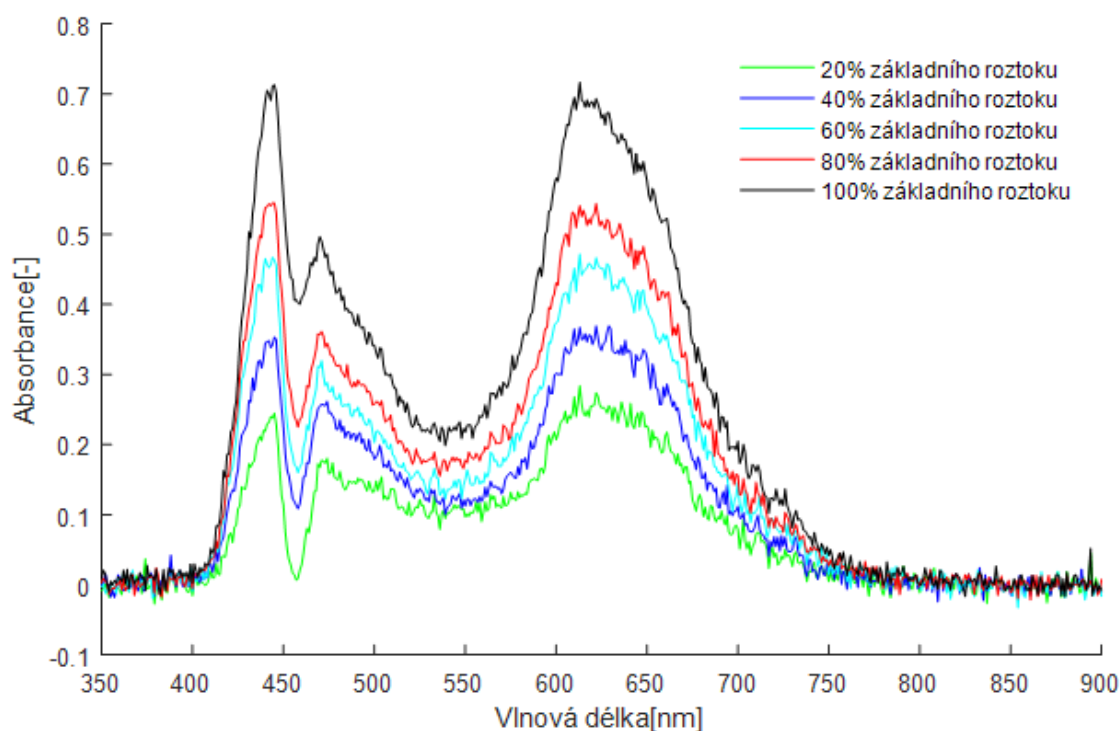
Poměr koncentrace základního roztoku v destilované vodě (koncentrace látky)	Naměřená hodnota RED	Absorb. RED [-]	Naměřená hodnota GREEN	Absorb. GREEN [-]	Naměřená hodnota BLUE	Absorb. BLUE [-]
0	16924	-	18167	-	9623	-
0,2	11912	0,153	15172	0,078	7403	0,114
0,4	10171	0,221	13411	0,132	6327	0,1821
0,6	8729	0,288	12278	0,170	5569	0,238
0,8	7549	0,351	11489	0,199	4921	0,291
1	5868	0,460	10322	0,246	4070	0,373

Zpracování výsledku proběhlo v programovacím prostředí Matlab a bylo zobrazeno do grafu, viz obrázek 4.4. Z grafu vyplývá, že absorpce světla ve vzorku je lineárně úměrná sytosti zelené akrylové barvy. Tato závislost je viditelná u každé ze tří základních barev bez rozdílu na barvě prosvětlované látky, proto není nutné zpracovávat data všech tří barev, ale bude stačit analyzovat pouze jednu vybranou barvu. Pro námi připravenou sadu kalibračních roztoků, by bylo optimální analyzovat červenou barvu. Kalibrační křivka pro červenou barvu má největší strmost a tedy rozdíly absorbance mezi kalibračními vzorky jsou více patrné než na křivkách ostatních barev.



Obr. 4.4: Výsledné kalibrační křivky pro červenou, zelenou a modrou složku viditelného světla

Abychom potvrdili hypotézu, že pro připravenou sadu zeleně obarvených roztoků, dochází k největší absorpci světla v oblasti červené složky viditelného světla, byla provedena spektrální analýza na výukovém spektrofotometru RED TIDE USB650. Výstupem měření byl graf závislosti intenzity prošlého světla na vlnové délce, proto byla získaná data použita pro výpočet absorbance a výsledek byl vyneseno do grafu, viz obrázek 4.5. Je patrné, že pro připravené roztoky dochází k širokopásmovému útlumu světla v rozmezí vlnových délek 420 - 450 nm a 570 - 670 nm. První rozmezí odpovídá vysokému pohlcení části modrého světla, druhé rozmezí odpovídá absorpci žluté, oranžové a červené oblasti světla. Bylo rozhodnuto, že při měření koncentrace neznámého vzorku budou použita data červené části spektra. Tento poznatek bude využit při vytváření softwaru pro kolorimetr.



Obr. 4.5: Spektrum viditelného světla po průchodu vzorky s různou sytostí zelené barvy

Z grafů také vyplývá, že kalibrační roztoky nejméně absorbovaly vlnové délky odpovídající zelené barvě spektra. Můžeme vyvodit, že prosvětlovaná látka měla naželenalou barvu, vzhledem k teoretické úvaze o komplementaritě barev v kapitole 1.

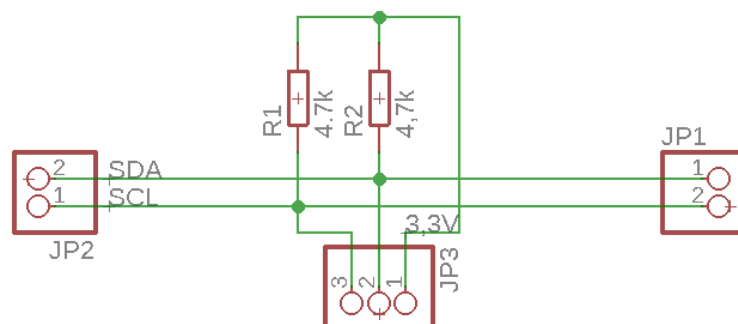
Pro měření absorbance roztoků jiné barvy, by bylo ideální změnit rovněž barvu spektra, jehož hodnota bude zapisována do paměti NFC tagu a čtena smartphonem. Například pro měření koncentrace pH neznámých roztoků se přidává barvivo fenolová červen, která je pH indikátorem. U daného barviva bude největší absorbance v oblasti zeleného spektra. Zelená barva bude ideální pro měření těchto vzorků kolorimetrem. Vždy je nutné se přesvědčit, jestli maximální absorbance nespadá do oblasti, ve které není senzor senzitivní a tedy jestli nedochází ke zkreslení výsledků, viz příloha A.1.

Cílem tohoto měření bylo zjistit, jestli se senzor chová podle očekávání a může být zařazen jako měřící prvek optického systému kolorimetru. Měřením bylo dokázáno, že RGB senzor ISL29125 je vyhovující pro kolorimetrické použití s použitými vzorky.

5 HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ

5.1 I²C zapojení

Zapojení obsahuje pull-up rezistory o velikosti 4,7 k Ω , které se nacházejí v doporučeném rozsahu velikostí odporu v dokumentaci senzoru. Na rezistory je přivedeno napětí 3,3 V z Arduina, které udržuje na vodičích stav HIGH v klidovém stavu. Důvodem použití pull-up rezistorů je snížení spotřeby elektrické energie, protože je omezen tok elektrického proudu z mikroprocesoru.

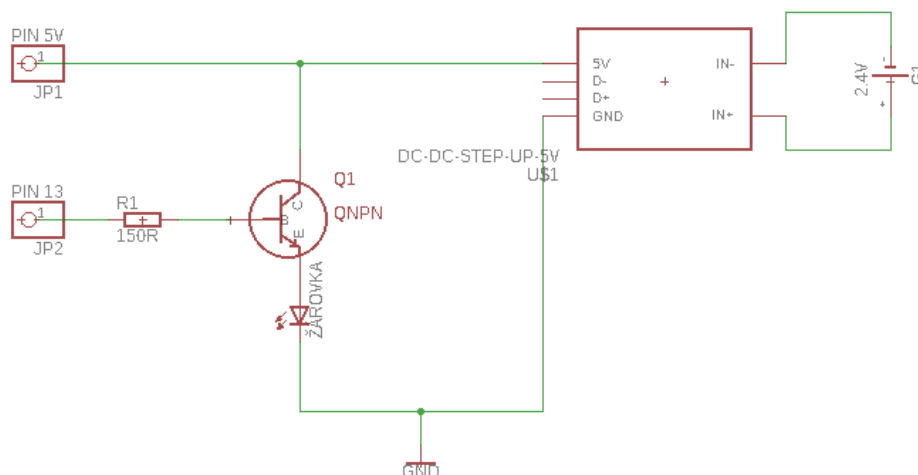


Obr. 5.1: Schéma zapojení pull-up rezistorů k I²C sběrnici

5.2 Napájení obvodu

Zdrojem napětí pro celý kolorimetr je dvojice mikrotužkových baterií, jejichž celkové napětí je 2,4 V. Pro napájení obvodu je zapotřebí minimálně napětí 5 V, které je zajištěno napěťovým step-up měničem. Účinnost přeměny je výrobcem stanovena na 85%. Takto vytvořený zdroj napětí je dostatečný pro napájení elektronické platformy Arduino a skrze ní také senzoru ISL29125, NFC tagu MAX66242 a udržuje napětí na I²C sběrnici (přes pull-up rezistory).

Dále je také zdrojem pro halogenovou žárovku, která však potřebuje pro práci proud 200 mA a napětí 5,2 V. Vstupně-výstupní piny Arduina UNO poskytují stejnosměrný proud pouze 20 mA a není tedy možné spustit halogenovou žárovku přímým napojením na digitální výstup Arduina. Mikroprocesor však slouží jako řídicí prvek pro spínání žárovky. Z digitálního pinu 13 je vyveden výstup přes předřadný odpor 150 Ω na bázi bipolárního tranzistoru typu NPN, viz obrázek 5.2. V okamžiku napěťového impulsu z Arduina je tranzistor sepnut a protéká jím proud do žárovky.



Obr. 5.2: Schéma zapojení halogenové žárovky a zdroje napájení pro kolorimetr

5.3 Spouštění kolorimetru

Z důvodu snížení spotřeby energie je platforma Arduino, po provedení měření a zaslání dat do paměti tagu, usnává. K jejímu opětovnému spuštění je zapotřebí přiložit smartphone se zapnutým NFC modulem ke čtecímu místu na kolorimetru. Tímto provedením je zajištěna automatizace celého procesu měření, protože není nutné řešit spuštění zařízení žádným tlačítkem.

Arduino ve spánkovém režimu kontroluje změnu stavu na digitálním pinu 2. Napětí indukované na cívce NFC tagu je přivedeno přes 10 Ω rezistor na bázi bipolárního tranzistoru typu NPN a dojde k jeho otevření. Tím je pin 2 sveden do země (pin GND) a Arduino indikuje přerušování spánku při zaznamenání stavu LOW. Po provedení cyklu měření a poslání dat do tagu dojde k jeho opětovnému usnání. Po načtení hodnoty z NFC tagu, by měl uživatel oddálit smartphone od čtecího místa, čímž zabrání spuštění nového cyklu. Kompletní návrh elektrického obvodu, včetně řešení spouštění kolorimetru, je představen v příloze, viz obrázek B.1.

Softwarové řešení spouštění

Nastavení podmínek, za kterých se Arduino přepíná mezi režimem spánku a probuzení, je realizováno úpravou kódu, použitého při testování senzoru. Digitální pin 2 je nadefinován jako výstupní s použitím vnitřních pull-up rezistorů Arduino. Samotné nastavení spacího režimu a podmínek jeho vypnutí je provedeno v metodě `sleepNow()`. Zde je deklarován hluboký režim spacího módu (SLEEP MODE PWR DOWN), ve kterém je ušetřeno nejvíce energie. Z důvodu ušetření ještě více energie z baterie je vypnut ADC převodník a zakázána detekce poklesu elektrického napětí,

podle doporučení zdroje [14]. Další redukce napětí uvedené v článku způsobily nenačtení hodnot ze senzoru ISL29125 po probuzení z režimu spánku. V této metodě je nastavena také podmínka, jejíž splněním se zařízení probudí.

```
void sleepNow()                                // Nastavení spacího režimu
{
    ADCSRA = 0; //Vypnutí ADC převodníku
    set_sleep_mode (SLEEP_MODE_PWR_DOWN); //Nastaví mód spaní

    noInterrupts ();                            // Zakáže přerušování
    sleep_enable();                             // Nastaví mód spánku
    MCUCR = bit (BODS) | bit (BODSE); // Vypne detekci poklesu
    elektrického napětí
    MCUCR = bit (BODS);
    interrupts ();                             // Přerušování zprovozněny

    attachInterrupt (0,wakeUpNow, LOW); // Nastavení podmínky přerušování
    spánku (pokud na pinu 2 bude stav LOW)
    sleep_cpu ();                             // Uvedení do režimu spánku
}
```

Režimu spánku předchází načtení hodnot ze senzoru, jejich zapsání do paměti NFC tagu a 5 sekundová prodleva během, které může dojít k načtení hodnoty z tagu do smartphonu bez opětovného spuštění zařízení¹. Tato část kódu bude více rozbrána v kapitole 6. Metoda `sleepNow()` je spuštěna po proběhnutí jednoho měřicího cyklu. Zároveň dojde k nastavení počítadla na hodnotu "0" a vypnutí halogenové žárovky.

```
if (count==1){
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    count = 0;
    delay(100);
    sleepNow();
}
```

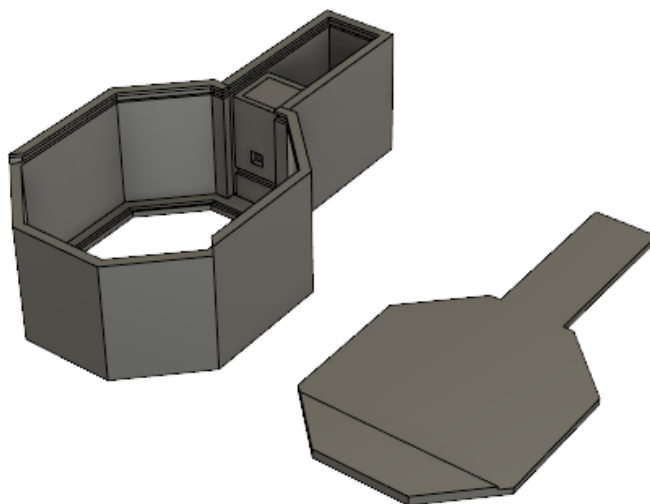
¹Pokud se během tohoto času hodnota nenačte, je potřeba pohnout smartphonem, čímž se sice opětovně spustí zařízení, ale načte se zároveň poslední uložená hodnota.

5.4 Krabíčka

Veškerý hardware byl uložen do navržené krabíčky, vyrobené z neprůsvitného, černého plastového materiálu. Krabíčka zajišťuje ochranu před vnějším světlem, které by ovlivnilo výsledky měření a zároveň chrání elektrický obvod před poškozením. Krabíčka je tvořena dvěma částmi: výsuvným víkem a úložnou částí s otvory na NFC tag a kyvetu se vzorkem, viz obrázek 5.3.

Návrh byl navržen tak, aby co nejvíce kopíroval tvar použitých součástí a aby se ušetřil materiál a čas potřebný na výrobu. Osmistěnný hranol tvarově odpovídá NFC tagu a poskytuje úložný prostor pro elektrický obvod a baterii. NFC tag je připevněn z vnitřní strany do vytvořeného okénka, které bylo vytvořené z důvodu snížení útlumu RF signálu na rozhraní vzduch-plast a snížení množství materiálu na výrobu pouzdra. Z jedné strany osmistěnu je připojen prostor ve tvaru kvádru, obsahující vestavěný stojan na kyvety a prostor pro halogenovou žárovku. Stojan je opatřen ze dvou protilehlých stran otvory o rozměrech 4 x 4 mm, z toho jeden slouží pro vstup světla a druhý pro výstup prošlého světla. Drážka pod jedním otvorem slouží k lepšímu přilnutí senzoru ke stěně stojanu. Mezi stěnou pouzdra a stojanem jsou z obou stran vytvořeny 1 mm široké mezery pro protažení drátků napájejících žárovku. Výška stojanu je 37 mm a tloušťka jeho stěn 2 mm. Otvor na kyvetu má rozměry 12 x 12 mm.

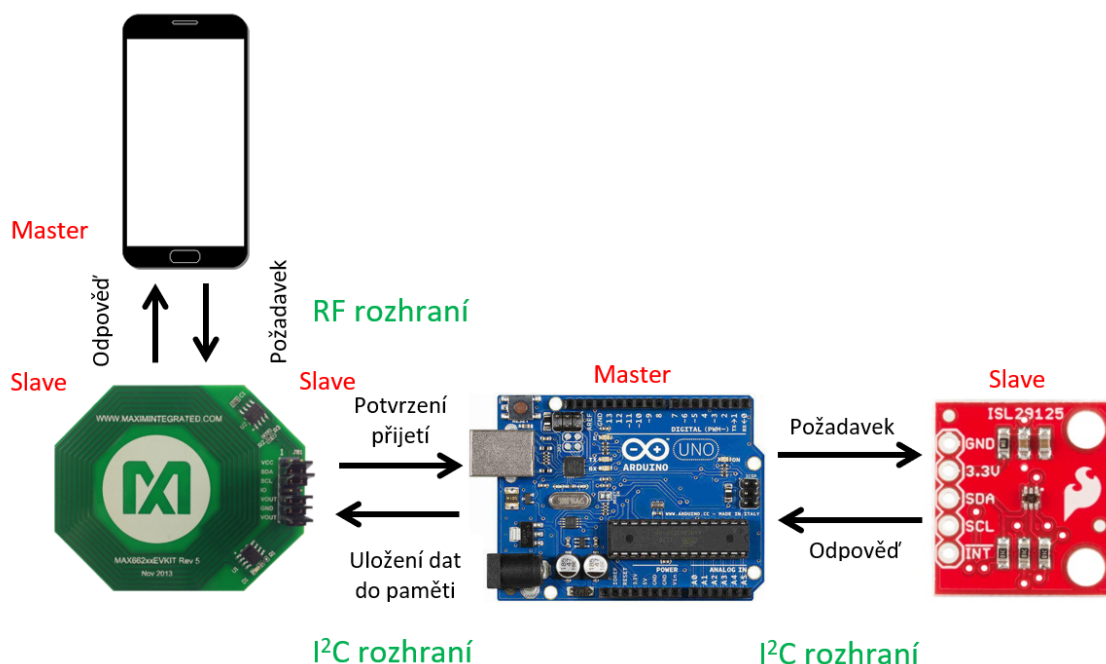
Krabíčka je uzavřena posuvným víkem, které zapadá do drážek vytvořených ve stěnách krabíčky. Hloubka drážky je 1 mm a výška 2 mm, což odpovídá tloušťce víka. Z jedné strany je tloušťka víka zvětšena o 1 mm, tak aby došlo k vyrovnání spodní plochy krabíčky a nedocházelo k naklánění celého zařízení během používání. Výstupek navíc slouží k lepší manipulaci s víkem při otevírání.



Obr. 5.3: Pouzdro kolorimetru

6 SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ

Řetězec toku dat je tvořen RGB senzorem ISL29125, vývojovou deskou Arduino, NFC tagem 5 typu¹ MAX66242 a smartphonem využívajícím operační systém Android. Z důvodu určení přesného směru toku dat, musel být určen vztah *master/slave* mezi jednotlivými komponentami, viz obrázek 6.1. *Master* komponenta iniciuje komunikaci se *slave* a získává nazpátek požadovaná data. NFC tag představuje propojovací prvek mezi RF rozhraním a I²C rozhraním.



Obr. 6.1: Řetězec toku dat mezi komponentami a jejich vztah master/slave

6.1 I²C rozhraní

I²C rozhraní je tvořeno RGB senzorem, vývojovou deskou Arduino a NFC tagem. *Master* zařízení (Arduino) iniciuje datový přenos a poskytuje hodinový signál². RGB senzor a NFC tag jsou v naší aplikaci *slave* zařízení s rozdílnými adresami. Arduino s každým zařízením komunikuje odděleně s použitím unikátních adres. Aby *master*

¹NFC tag 5 typu je označení tagu, jehož komunikace je definována mezinárodním standardem ISO/IEC 15693. Popis tagu 1-5 typu lze dohledat na NFC fóru. NFC fórum je organizace sdružující komunitu okolo NFC technologií, která pracuje na vývoji pokročilejšího využití NFC. [30]

²Hodinový signál slouží k synchronizaci posílaných dat.

komponenta mohla komunikovat s další komponentou, musí nejprve ukončit výměnu dat se stávající.

Master nejprve odešle startovní bit (START bit), který společně se zastavujícím bitem (STOP bit), mění stav datové linky v době, kdy je SCL ve stavu HIGH. Ostatní bity se posílají pouze pokud je SCL ve stavu LOW. Při odeslání startovního bitu dochází k změně stavu SDA linky z HIGH na LOW. *Slave* neustále kontroluje stav na obou linkách a neodpoví na žádný příkaz dokud nenastane popisovaná změna stavu odpovídající startovnímu bitu.

Po startovním bitu následuje bajt s adresou cílového zařízení. Adresa zařízení má velikost 7 bitů, což umožňuje připojení až 128 zařízení s odlišnými adresami. V našem případě jsou adresy obou *slave* zařízení přesně určené a není možné je měnit, tedy je možné zapojit pouze jeden senzor ISL29125 a jeden NFC tag MAX66242 na sběrnici I²C. Těchto 7 bitů, označovaných jako identifikátor zařízení, je následováno osmým bitem definujícím směr toku dat. R/W (Read/Write) bit určuje, jestli budeme do zařízení data zapisovat nebo z něj budeme číst. V případě, že chceme do zařízení zapisovat, bude mít R/W bit hodnotu 0 a při čtecí operaci bude mít hodnotu 1. Adresy zařízení určené výrobcí jsou znázorněné na obrázku 6.2.

1	0	0	0	1	0	0	R/W
---	---	---	---	---	---	---	-----

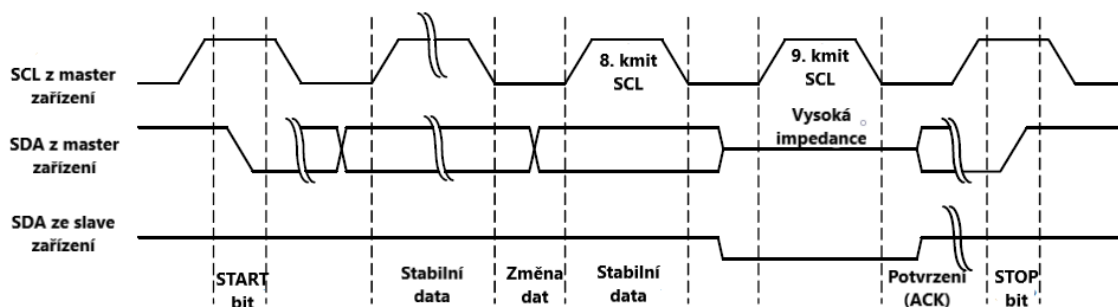
(a) ISL29125 (převzato z [9])

0	0	1	1	0	0	1	R/W
---	---	---	---	---	---	---	-----

(b) MAX66242 (převzato z [23])

Obr. 6.2: Adresy slave zařízení

Pokud *slave* obdrží adresu zařízení shodnou s jeho identifikátorem, dojde k poslání ACK bitu (Acknowledge) *slave* zařízením. ACK bit potvrzuje přijetí dat (stav LOW na SDA lince) nebo selhání přenosu dat (stav HIGH na SDA lince). Poté může *master* zařízení posílat další bajt nebo je přenos dat dokončen vygenerováním STOP bitu. Odesláním STOP bitu dochází k změně stavu z LOW na HIGH na SDA lince, když je zároveň hodinový signál ve stavu HIGH, viz obrázek 6.3.[9]



Obr. 6.3: Stav datové (SDA) a hodinové (SCL) linky při posílání dat (převzato z [9])

Komunikace Arduina s RGB senzorem

Pro získání měřených dat z registru senzoru ISL29125, byl využit stejný program jako při zkoušce senzoru. Použitá knihovna zajišťuje inicializaci, konfiguraci senzoru a čtení z registrů, ve kterých jsou data uložena. Arduino nejprve resetuje senzor zapsáním sekvence bajtů:

- **Adresa slave zařízení** je 7bitová adresa "1000100"(v hexagonální reprezentaci 0x44). R/W bit pro zápis je generován v rámci příkazu automaticky.
- **Adresový bajt**, na který chceme zapisovat je 0x00.
- **Datový bajt** nesoucí informaci, kterou chceme do daného registru zapsat. Pro resetování je potřeba zapsat hodnotu 0x46, která je určena výrobcem senzoru.

Po resetování dochází ke konfiguraci zařízení, kde si vývojář může vybrat RGB operační módy (určují jaká barva se bude konvergovat ADC³ převodníkem), rozsah snímání určující ADC rozlišení (12 nebo 16bitové), velikost kompenzace proti infračervenému (tepelnému) záření, může nastavit prahy přerušování snímání a další. Každá z těchto konfiguračních možností musí být zapsána do příslušného registru stejným způsobem jako je provedeno resetování. Je patrné, že nastavení konfiguračních registrů ovlivní dobu konverze a velikost získaných dat.

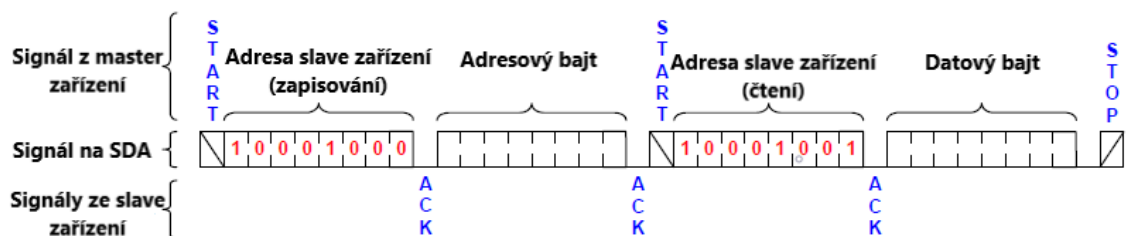
Čtení z datových registrů je podmíněno sekvencí bajtů v pořadí jaké je zobrazeno na obrázku 6.4. Význam jednotlivých bajtů sekvence je následující:

- **Adresa slave zařízení (zapisování)** - poté co *master* zařízení pošle START bit, následuje adresa *slave* zařízení 0x44 a R/W bit s hodnotou "0"(write). *Slave* zařízení odpoví na přijetí bajtu ACK bitem.
- **Adresový bajt** ukazuje na registr, ze kterého chceme data číst. Po tomto bajtu jsou operace čtení a zápis vždy vztaheny k danému registru, dokud není

³Analogový signál vznikající konverzí světla na proud, je převeden na digitální signál pomocí analogově-digitálního převodníku (ADC).

adresový bajt změněn nebo nedojde k resetování zařízení. Pokud tedy chceme číst více než jednu barvu z více registrů, musíme celou sekvenci opakovat s jiným adresovým bajtem. Pomocí použité knihovny získáme hodnoty všech tří barev. V závěru kapitoly 4 bylo zdůvodněno, proč nám pro analýzu koncentrace barevné látky v roztoku budou stačit hodnoty červené barvy. Registr nesoucí data o červené barvě má číslo 0x0B. Tento registr je určen výrobcem a je možné ho vyhledat v dokumentaci k senzoru. *Slave* zařízení odpoví na přijetí bajtu ACK bitem.

- **Adresa slave zařízení (čtení)** - *master* zařízení pošle další START bit a adresu *slave* zařízení 0x44 s R/W bit nastaveným na hodnotu "1"(read). Následuje ACK bit poslaný ze senzoru.
- **Datový bajt** nabývá hodnoty měřené barvy světla. V případě, že je hodnota větší než maximální možné číslo (255), které může být zapsáno v jednom bajtu, je hodnota poslána ve dvou bajtech. Pro každou barvu jsou vyhrazeny 2 registry, celkově 16 bitů. Po přenesení posledního bajtu ze senzoru do paměti Arduina je komunikace přerušena, tak že *master* zařízení generuje STOP bit. Tím je umožněno navázat spojení s dalším *slave* zařízením připojeným na I²C sběrnici. Vzhledem k tomu, že pro naše účely budeme potřebovat pouze data červené složky světla, není nutné čtení registrů ostatních barev a proces čtení je tak urychlen.[9]



Obr. 6.4: Sekvence čtení z registru (převzato z [9])

Komunikace Arduina s NFC tagem

Poté co byla hodnota červené složky světla uložena do paměti Arduina, dochází k jejímu zápisu do EEPROM paměti MAX66242. Vývojová deska Arduino je *master* zařízení ve vztahu k NFC tagu a proto iniciuje přenos dat.

MAX66242 podporuje 25 příkazů kontrolujících jeho funkci a paměť. Tyto příkazy jsou rozděleny do dvou skupin obsahujících sedm ISO 15693 standardních příkazů a osmnáct ISO 15693 příkazů závislých na výrobcu. Standardní příkazy po-

skytují přístup k systémovým informacím, spravují AFI⁴ a poskytují základní čtecí přístup do paměti (čtení jednoho nebo více bloků paměti). Příkazy závislé na výrobci dovolují čtení a zápis nechráněných informací a autentizaci chráněných informací.[23] Dokumentace k NFC tagu MAX66242 podléhá smlouvě o utajení informací a její elektronická verze není volně dostupná, z toho důvodu bude přiložena na CD k této práci.

Zapisování dat do paměti NFC tagu se provádí příkazem navrženým výrobcem tagu. Sekvence bajtů a jejich hodnoty, které musí *master* zařízení poslat, jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Tab. 6.1: Sekvence bajtů pro zápis do EEPROM paměti NFC tagu přes I²C rozhraní

Zkratka	Význam bajtu	Hodnota poslaného bajtu v hexadecimálním tvaru
AD,0	Adresa slave zařízení, bajt pro zápis	0x25
40h	Adresa registru - určuje registr, na který budeme zapisovat.	0x40
CWM	Příkaz: Zapiš do paměti	0x55
PB	Parametrický bajt - určuje číslo strany a bloku v paměti, kam budeme zapisovat.	0x00
bajt 1	Zapíše první bajt dat do paměti.	Závisí na naměřené hodnotě.
bajt 2	Zapíše druhý bajt dat do paměti.	Závisí na naměřené hodnotě.
bajt 3 bajt 4	Další 2 bajty, které jsou zapsány do paměti, doplňují posílaná data na celkový počet 4 bajtů. Jiný počet bajtů vede k selhání zápisu.	0x00 0x00

Po zaslání sekvence bajtů následuje časový interval, zvaný programovací čas, během kterého není možno zapisovat další data do paměti. Interval t_{PROG} začíná po obdržení potvrzení (ACK bit) posledního přenášeného bajtu a končí, jakmile je cyklus zapisování EEPROM dokončen. Délka intervalu je maximálně 10 ms.

Následující část kódu představuje kompletní řešení procesu zapisování do paměti tagu, jehož adresa je 0x25, viz obrázek 6.2,b. Metoda `beginTransaction()` řeší zaslání START bitu a R/W bitu pro zapisování. Metoda `endTransmission()` odešle bajty, které byly zařazeny do sekvence metodou `write()` a zároveň ukončí přenos

⁴AFI je identifikátor rodiny aplikací, který, pokud je použit, umožňuje rozlišení mezi skupinami zařízení používaných pro konkrétní účely. Například AFI mají jiný kód pro finanční a medicínské aplikace.

na *slave* zařízení implementací STOP bitu. Tomuto kódu předchází čtení červené barvy světla ze senzoru a uložení hodnoty do proměnné "red".

```
Wire.beginTransaction(25);  
Wire.write(0x40);  
Wire.write(0x55);  
Wire.write(0x00);  
Wire.write(red);  
Wire.write(red>>8);  
Wire.write(0x00);  
Wire.write(0x00);  
Wire.endTransmission();
```

```
delay(10); //tprog
```

6.2 RF rozhraní

Rozhraní je tvořeno smartphonem a NFC tagem, který má v tomto vztahu opět roli *slave* zařízení. *Master* zařízení posílá sekvenci bajtů pro čtení jediného bloku, do kterého byla data uložena. Jedná se o standardní příkaz ISO 15693, který je stejný pro všechny výrobce NFC tagu. Sekvence bajtů a hodnoty použité pro naši aplikaci jsou uvedeny v tabulce 6.2.

Tab. 6.2: Sekvence bajtů pro čtení z EEPROM paměti NFC tagu přes RF rozhraní

Zkratka	Význam bajtu	Hodnota poslaného bajtu v hexadecimálním tvaru
SOF	Začátek rámce	0x02
RQF	Request flags	0x20
RSB	Příkaz: Čti jeden blok	0x20
[UID]	Unikátní identifikační číslo	0xB9 0x66 0x0D 0x00 0x80 0x00 0x2B 0xE0
PB	Parametrický bajt	0x00
CRC-16	Cyklická kontrola redundance	Vypočteno na základě všech hodnot v sekvenci od začátku po konec dat.
EOF	Konec rámce	0x03

Funkce bajtů v čtecí sekvenci

RQF - je číslo specifikující akce, které budou vykonány NFC tagem MAX66242 a určuje jaké bajty (pole) budou v sekvenci zastoupené. RQF bajt je složen z 8 bitů a jejich význam je uveden v tabulkách 6.3, 6.4 a 6.5. Bit 3 (Inventory_flag) definuje obsah 4 posledních bitů (bity 5 až 8). Pokud je bit 3 nastaven na 0, budou bity 5 až 8 definovat výběrové kritéria NFC tagu. Pokud bude bit 3 nastaven na 1, budou zmíněné bity definovat parametry inventáře.

Tab. 6.3: Definice požadavků flagů 1 až 4 bit

Číslo bitu	Flag	Úroveň	Popis
Bit 1	Subcarrier_flag	0	Pro přenos datového paketu odezvy bude použita pouze jedna frekvence, která je 423,75kHz.
		1	Pro přenos datového paketu odezvy budou použity dvě frekvence o velikostech 423,75kHz a 484,28kHz.
Bit 2	Data_rate_flag	0	Značí, že použitá přenosová rychlost bude nízká. Tato rychlost má velikost přibližně 6600 bps (bitů za sekundu).
		1	Použitá přenosová rychlost bude vysoká. Přibližná velikost je 26500 bps.
Bit 3	Inventory_flag	0	Význam flagů 5 až 8 bitu je popsán v tabulce 6.4.
		1	Význam flagů 5 až 8 bitu je popsán v tabulce 6.5.
Bit 4	Protocol_extension_flag	0	Formát protokolu ISO 15693 nebude rozšířen.
		1	Formát protokolu ISO 15693 bude rozšířen.

Tab. 6.4: RQF 5 až 8 bit, když bit 3 = 0

Číslo bitu	Flag	Úroveň	Popis
Bit 5	Select flag	0	Žádost je provedena jakýmkoliv tagem podle nastavení Address flag.
		1	Žádost neobsahuje UID tagu. Na žádost je odpovězeno pouze tagem nacházejícím se ve stavu Select (vybrán).
Bit 6	Address flag	0	Žádost není adresována. To znamená, že žádost neobsahuje UID a bude na ní odpovězeno všemi tagy, které se nacházejí v RF poli vysílače.
		1	Žádost je adresována určitému tagu. To znamená, že v sekvenci bajtů bude UID tagu a na žádost bude odpovídat pouze tag jehož UID bude shodné s UID zaslaným v žádosti. Pokud se UID nebude shodovat, zůstane NFC tag potichu.
Bit 7	Option flag	0	Možnost není aktivována.
		1	Možnost je aktivována.
Bit 8	RFU	0	-

Tab. 6.5: RQF 5 až 8 bit, když bit 3 = 1

Číslo bitu	Flag	Úroveň	Popis
Bit 5	AFI flag	0	Pole AFI není v sekvenci.
		1	Pole AFI je v sekvenci.
Bit 6	Nb_slots flag	0	16 slotů
		1	1 slot
Bit 7	Option flag	0	MAX66242 nepodporuje tuto možnost, proto musí mít hodnotu 0.
Bit 8	RFU	0	-

Bylo zjištěno, že některé mikročipy chytrých telefonů neumí pracovat s neadresovanými žádostmi a operaci vyhodnotí jako chybu připojení, viz zdroj [8]. V debatě je vysloveně jmenován smartphone Samsung Galaxy S5, který používáme k ovládání kolorimetru, jako problémové zařízení. Navíc pokud se objeví chyba a žádost je poslána v adresovaném módu, MAX66242 odpoví chybovou zprávou. Taková zpráva

začíná bajtem s hodnotou 0x01 a je doprovázena jednobajtovým chybovým kódem. Pokud není žádost v adresovém módu, MAX66242 nepošle žádnou odpověď. Z důvodu zajištění kompatibility programu se všemi smartphony a informovanosti o chybách vzniklých při práci s pamětí, budeme používat adresované žádosti.

Abychom mohli měnit adresovatelnost žádosti, musíme nastavit bit 3 na úroveň "0". Dále chceme pouze jednu frekvenci datové odezvy a přenosová rychlost může být nízká.

Na základě tabulek byla hodnota bajtu stanovena na 0x20. V binární reprezentaci jde o číslo "00100000", kde úroveň "1" odpovídá adresovému bitu 6. Zároveň je nutné, aby byl bit Select flag nastaven na úroveň "0", protože nesmí být Address flag a zároveň Select flag nastaveny na úroveň "1".

RSB - je příkaz pro čtení jednoho bloku z paměti EEPROM.

[UID] - každý tag má unikátní 8bajtové identifikační číslo, které může sloužit jako antikolizní filtr. V případě, že je UID posílané v sekvenci shodné s UID daného tagu, pak tag pokračuje v komunikaci s zařízením, které sekvenci posílá.

PB - parametrický bajt specifikuje blok paměti NFC tagu, který bude čten smartphonem. Uživatelská paměť je členěna do 16 stran a každá strana se skládá z 8 bloků. Parametrický bajt užívá absolutní počet bloků a jeho maximální hodnota je 127. Pro naše účely budeme využívat pouze blok 0x00.

CRC-16 - invertovaná 16bitová cyklická kontrola redundance zajišťující integritu datové komunikace. Hodnota CRC-16 je generována pomocí algoritmu CRC-16-CCITT užívající polynom $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ a závisí na hodnotách bajtů následujících po začátku rámce (SOF) až po hodnotu bajtu CRC pole.[23]

7 APLIKACE PRO ANDROID

Android je v současné době nejrozšířenějším operačním systémem na světě a najdeme ho kromě smartphonů, také na tabletech a chytrých hodinkách. Vysoká rozšířenost tohoto systému byla jedním z hlavních důvodů, proč bylo rozhodnuto vyvíjet aplikaci pro tuto práci pro Android. Uživatelé chytrých telefonů využívajících operační systémy iOS a Windows nebudou mít možnost využít kolorimetrické zařízení s NFC připojením.

Architektura operačního systému Android se skládá z 5 vrstev nezbytných pro funkčnost systému. Nejnížší vrstvou architektury je upravené jádro operačního systému **Linux**. Jádro slouží ke správě a komunikaci mezi hardwarem a softwarem mobilního zařízení, zabezpečuje základní síťovou vrstvu, ovladače a správu procesů a paměti. Vyšší vrstva **Android Runtime** obsahuje sadu základních knihoven a zajišťuje běh procesů v systému. Vrstva **Libraries** obsahuje nativní knihovny psané v jazyce C a C++, které používají systémové komponenty a služby (např. Android Runtime). Pro přístup některým knihovnám je potřeba užít Android NDK¹. Vývojář může přistoupit ke knihovně ve vývojovém aplikačním rozhraní API (Application Programming Interface). **Application Framework** obsahuje software, který je opakovaně používán (např. ovládací prvky, ikony). Tato vrstva obsahuje důležitou službu Activity Manager spravující životní cyklus aplikace. Zároveň slouží k přepínání mezi aktivitami. Nejvyšší vrstvou operačního systému jsou **aplikace**. Aplikace se dělí na ty, které jsou v systému předinstalované a na aplikace nainstalované uživatelem.[20]

Operační systém Androidu je tvořen 4 základními komponentami, které jsou realizované jako třídy:

1. Aktivita (Activities) umožňují uživatelům přes grafické rozhraní přijímat informace od aplikace a ovládat ji. Jedna aplikace může obsahovat více aktivit, ty si můžeme představit jako obrazovky aplikace. Při spuštění aplikace se nám otevře hlavní aktivita, která je nahrazena další aktivitou po spuštění jiné obrazovky, přičemž se předchozí aktivita pozastaví. Jednotlivé aktivity fungují samostatně a navzájem mezi sebou komunikují a předávají si informace. Aktivity jsou definované v souboru `AndroidManifest.xml`.
2. Služby (Services) běží v pozadí a nepotřebují uživatelské rozhraní. Tato komponenta umožňuje realizovat déle trvající operace paralelně s hlavním vláknem. Dále umožňují požádat různé procesy o provedení operace a sdílení údajů.
3. Přijímače vysílání (Broadcast receivers) jsou objekty, které poslouchají na pozadí a reagují na události odehrávající se na zařízení.

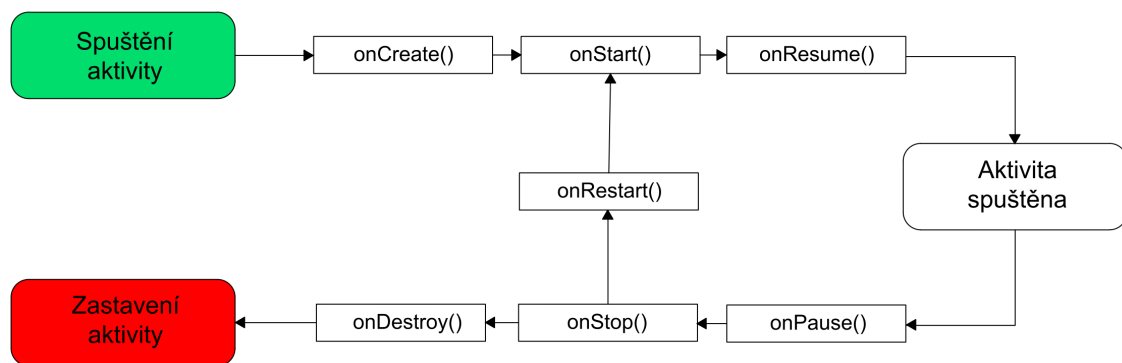
¹Native Development Kit je sada nástrojů umožňující implementovat jazyk C a C++ s Androidem a poskytuje knihovny k řízení nativních aktivit a k přístupu k fyzickým komponentám zařízení, např. senzorům.

4. Poskytovatele obsahu (Content providers) umožňují ukládat a sdílet data mezi více aplikacemi a procesy. Využívá se rozhraní podobné databázovému. Aby mohly aplikace přistupovat k uživatelským datům, potřebují povolení od uživatele. [20]

Každá aktivita má svůj **životní cyklus** definovaný metodami, které se spouštějí v reakci na změnu stavu aplikace v určeném pořadí, viz obrázek 7.1. Metody jsou definované třídou `Activity.java` a mají následující funkce:

- **Metoda `onCreate()`** se volá při prvním spuštění aktivity. V těle metody jsou definované funkce objektů grafického rozhraní, které bude daná aktivita používat. Objekty jsou myšleny tlačítka, nadpisy, posuvníky atd., jejichž grafická podoba a rozložení se vytváří v xml souboru, určeného pro danou aktivitu.
- **Metoda `onStart()`** se aktivuje při spouštění, které následuje po předchozím zastavení aktivity.
- **Metoda `onResume()`** se volá při přechodu aktivity z pozadí do popředí, kdy se zobrazí uživateli.
- **Metoda `onPause()`** je volána před přechodem aktivity do pozadí. Tato změna stavu může nastat například při přechodu na jinou aktivitu nebo stisknutím tlačítka "Plocha". V této metodě je vhodné uložit data, se kterými jsme pracovali například do databáze, souborů nebo seznamů.
- **Metoda `onStop()`** se volá při zastavení aktivity, kterou je možné znovu zobrazit na popředí voláním metody `onRestart()`.
- **Metoda `onDestroy()`** je volána před ukončením aktivity.
- **Metoda `onRestart()`** se volá v případě, kdy byla aktivita zastavena metodou `onStop()` a má dojít k opětovnému spuštění metodou `onStart()`.

Metody `onStop()` a `onDestroy()` nemusí být nikdy volány. Proces může být zlikvidován už při doběhnutí metody `onPause()`. [20]



Obr. 7.1: Životní cyklus aktivit

Pro vývoj aplikací se primárně využívá objektově orientovaný programovací jazyk

Java, z toho důvodu je syntaxe ve vývojových prostředích stejná jako v Javě. Vývojář může pro tvorbu knihoven použít programovací jazyk C++, předem je však nutné zprovoznit Android NDK. Mezi nejrozšířenější vývojová prostředí pro programování Android aplikací patří **MIT App Inventor 2** a **Android Studio**. [15, 20, 34]

7.1 MIT App Inventor 2

App Inventor je open-source webová aplikace umožňující přehlednou a snadnou tvorbu aplikací pro operační systém Android. Velmi intuitivní grafické prostředí je vhodné pro úplné začátečníky ve tvorbě aplikací, přitom je zde možné vytvořit i složitější programy. Výhodou prostředí je, že není potřeba instalovat do počítače objemné soubory a SDK balíčky². Stačí když si uživatel založí účet na webové stránce Google a pomocí účtu se přihlásí do webové aplikace. Po sestavení aplikace ve webovém prohlížeči, je možné ji spustit přes USB kabel na chytrém telefonu s operačním systémem Android. Pokud uživatel nedisponuje Android telefonem, může odzkoušet funkčnost aplikace použitím Android emulátoru³, který najde v záložce Connect v horní liště.

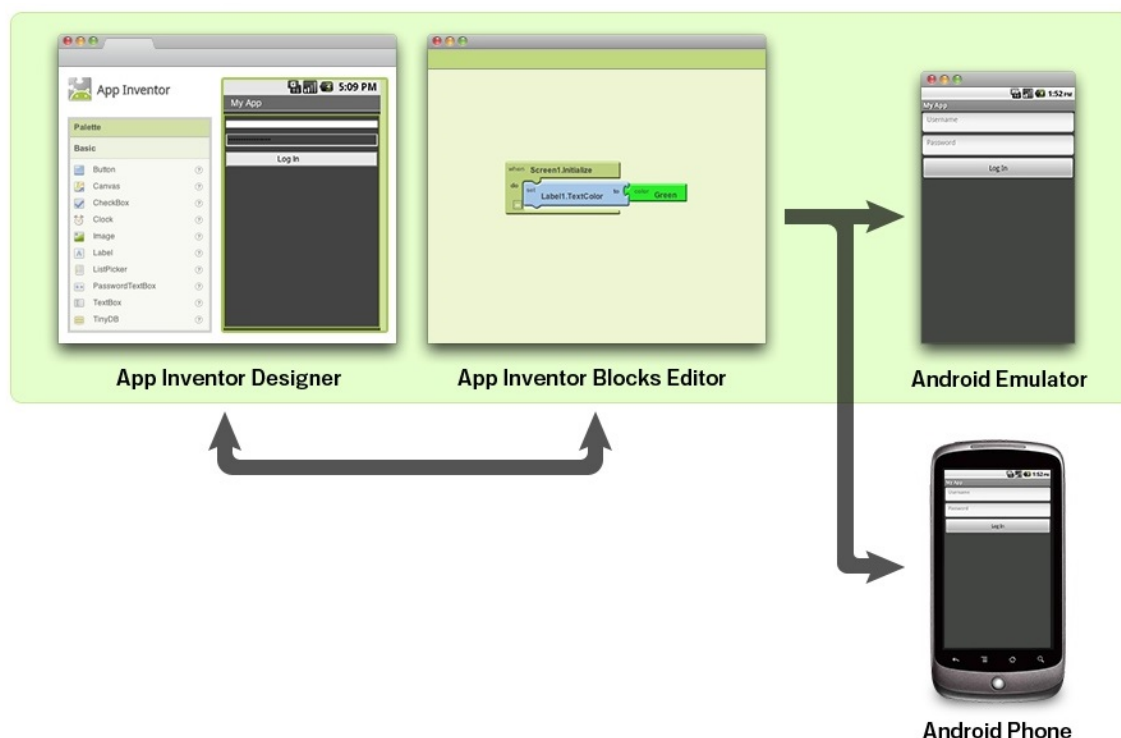
Aplikace ve vývojovém prostředí App Inventor vznikají prací ve dvou oknech, mezi kterými se programátor přepíná v pravém horním rohu. App Inventor Designer slouží k výběru komponent potřebných pro danou aplikaci a k vytvoření uživatelského rozhraní. Mezi komponenty patří jak viditelné objekty (např. tlačítko, popisky), tak objekty vykonávající svou činnost v pozadí (např. NFC modul), které nemůže uživatel vidět na displeji. Funkce jednotlivých komponent a jejich vzájemná provázanost je stanovena v okně App Inventor Blocks Editor. Jednoduchost tvorby aplikace je zajištěna vizuálním propojováním přednastavených bloků do logického řetězce, velmi podobným způsobem jako skládání puzzle, viz obrázek 7.2. Pokud k sobě nemohou být bloky připojeny, tak do sebe nezapadnout. Mimo bloků představujících námi zvolené komponenty v App Inventor Designeru, zde najdeme paletu s vestavěnými bloky (např. kontrolní, logické, matematické). Nevýhodou vývojového prostředí je omezené nastavování bloků, ty si programátor nemůže upravovat nad rámec přednastavených možností.

Aplikace pro smartphone měla být původně vytvořena ve vývojovém prostředí MIT App Inventor 2, ale to se ukázalo nedostatečné z hlediska vývoje aplikace s využitím NFC modulu. App Inventor dokáže zapisovat a číst data uložená na NFC tagu prvního až čtvrtého typu. Pro účel práce je použit nejnovější NFC tag 5 typu,

²Software Development Kit je sada vývojových nástrojů, která umožňuje vytvářet aplikace pro daný softwarový balíček

³Software, který běží na počítači a chová se jako telefon. Vývojář může v reálném čase simulovat svou aplikaci a odkrývat chyby. [27]

který ale není vývojovým prostředím podporován. Především adresování NFC tagu a příkazy pro čtení z paměti tagu jsou v tomto případě nemožné uskutečnit.



Obr. 7.2: Vývojové prostředí MIT App Inventor 2 (převzato z [27])

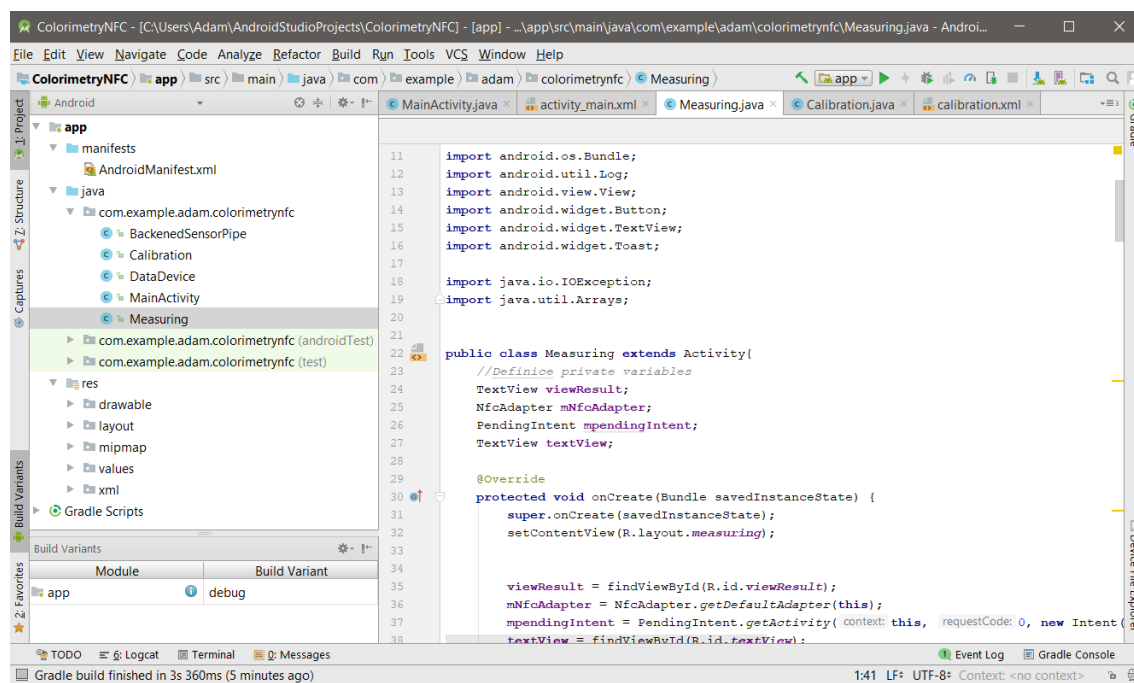
7.2 Android Studio

Vzhledem k nedostatečnosti vývojového prostředí MIT App Inventor 2 byla aplikace pro Android vyvíjena v Android Studio. Toto vývojové prostředí je oproti zastaralejšímu Eclipsu jednodušší na instalaci a představuje nejrychlejší nástroj pro tvorbu aplikací pro všechny druhy zařízení Android. Pro spuštění Android Studia stačí pouze stáhnout balíček z oficiálních stránek a instalace uživatele provede všemi kroky včetně instalace nezbytných SDK nástrojů, kompilátoru a vývojového emulátoru. Do prostředí je možné přidat další moduly, které rozšiřují sortiment nástrojů použitelných pro vývoj aplikace.

Každý projekt je tvořen více soubory, které jsou uspořádány ve stromové struktuře zobrazené v levém okně vývojového prostředí. V pravém okně je samotný obsah jednotlivých souborů a místo kam vývojář píše kód, viz obrázek 7.3.

V adresáři App nalezneme složky, se kterými vývojář pracuje nejčastěji. Složka **manifests** obsahuje soubor **AndroidManifest.xml**, který představuje hlavní konfigurační soubor aplikace. Definuje jednotlivé komponenty, nastavení konfigurace

a oprávnění aplikace. Informace obsažené v tomto souboru jsou předané operačnímu systému Android před spuštěním aplikace. Složka **Java** obsahuje zdrojové kódy aktivit tvořících aplikaci. Ve složce **res** nalezneme soubory, kde jsou definovány objekty v aktivitě, barvy, tvary a textové řetězce, na které se můžeme v kódu odkazovat.[20]



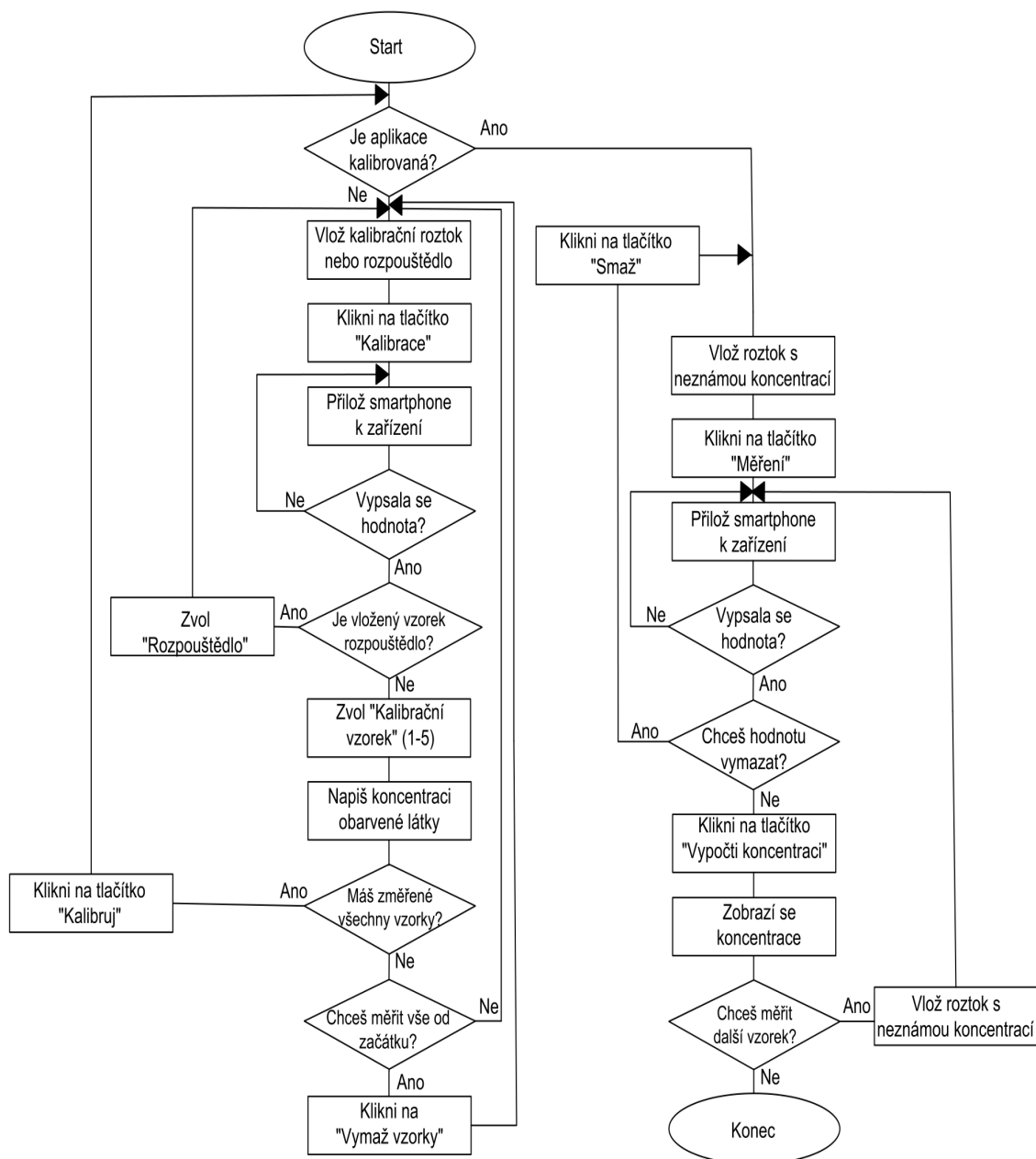
Obr. 7.3: Vývojové prostředí Android Studio

7.2.1 Vlastní aplikace

Vytvořená aplikace ColorimetryNFC představuje uživatelské rozhraní pro ovládání mobilního kolorimetru. Aplikace je složena ze tří aktivit: hlavní aktivity, která se otevře po spuštění aplikace, kalibrační a měřicí aktivity, které se otevrou až poté co je uživatel vybere.

Kalibrační aktivitu volí uživatel v případě, že poprvé otevřel aplikaci ColorimetryNFC nebo si přeje změnit řadu kalibračních roztoků. Po uživateli zařízení je vyžadována řada kalibračních roztoků se známou koncentrací obarvené látky a rozpouštědlo, čirá kapalina s níž je obarvená látka smíchána. V případě, že má uživatel proměřené všechny kalibrační roztoky a rozpouštědlo, a vyplnil koncentrace příslušných kalibračním vzorků, tak může provést kalibraci. Popřípadě může všechny hodnoty smazat a začít měřit znovu, dojde-li k nekorektnímu měření nebo ke změně

kalibrační řady. **Měřicí aktivitu** vybere uživatel s hotovou kalibrační fází. Pro měření je požadován roztok s rozpuštěnou obarvenou látkou, identickou s látkou použitou při kalibraci. Aktivita je téměř celá autonomní, požadované je pouze potvrzení hodnoty měřeného roztoku. V případě chybného měření může uživatel naměřenou hodnotu vymazat. Pro představu, co všechno by měla aplikace dělat a jak by na sebe měly jednotlivé kroky navazovat, byl vytvořen vývojový diagram 7.4.



Obr. 7.4: Vývojový diagram pracovního postupu

Hlavní aktivita

Úvodní aktivita je tvořena dvěma tlačítky, jejichž umístění na obrazovce a grafická podoba jsou definované v souboru `activitymain.xml`. Tento soubor dále obsahuje nastavení popisků a obrázku na hlavní obrazovce. Každému objektu⁴ je v xml souboru přiřazen unikátní identifikátor ID, přes který se přistupuje ze zdrojového kódu aktivity. U vybraného tlačítka chceme nastavit, aby při stisknutí tlačítka uživatelem došlo k přechodu na další aktivitu. Dotyky uživatele na obrazovce jsou zpracovány přes Listener, který nastavujeme metodou `setOnClickListener`. V ukázce části kódu vidíme nastavení tlačítka pro spuštění aktivity měření. Podobným způsobem bylo nastaveno tlačítko kalibrace.

```
Button buttonmeasuring = findViewById(R.id.buttonMeasuring);
buttonmeasuring.setOnClickListener(new OnClickListener(){
    public void onClick(View arg0) {
        startActivity(new Intent(MainActivity.this,
            Measuring.class));
    }
});
```

Kalibrační aktivita

Tuto aktivitu uživatel spouští z hlavní aktivity. Uživatelské rozhraní aktivity je definované v souboru `calibration.xml`. Uživatel po stisknutí tlačítka "Kalibrace" musí přiložit smartphone do blízkosti čtecího místa na zařízení. V případě, že má zařízení vypnutý NFC modul, vyskočí varovná hláška oznamující tuto skutečnost a aktivita je ukončena. Stejná hláška se objeví i v případě, že smartphone nepodporuje NFC technologii, což je velmi pravděpodobné u starších druhů telefonů.

```
if (mNfcAdapter == null || !mNfcAdapter.isEnabled()) {
    Toast.makeText(this, "Toto zařízení nepodporuje NFC nebo je
        vypnutý NFC modul", Toast.LENGTH_LONG).show();
    finish();
}
```

Pokud je v blízkosti smartphonu nalezen NFC tag, pak se získají informace o typu detekovaného tagu. Nalezený tag musí podporovat technologii NfcV⁵, aby s ním

⁴Každému objektu u něhož vyžadujeme reakci na uživatelský podnět.

⁵NfcV technologie je založena na RF technologii definované mezinárodním standardem ISO 15693. Pomocí NfcV technologie je umožněno zapisovat a číst NDEF zprávy na NFC tagu 5 typu.[31]

pokračovala výměna dat. Pokud je podmínka splněna smartphone získá unikátní 8bajtový identifikátor ID tagu, který bude dále použit při komunikaci.

Části kódu spojené s získáváním dat z NFC tagu byly převzaty ze dvou zdrojů [3], [4] a následně byly modulovány podle potřeby autorem práce. Do této kategorie spadají následující tři části kódu. V první části kódu se ověřuje typ načteného tagu a získává se ID tagu.

```
public void onNewIntent(Intent intent) {  
  
    if (NfcAdapter.ACTION_TAG_DISCOVERED.equals(intent.getAction())){  
        clearRadioChecked();  
        Tag currentTag=  
            intent.getParcelableExtra(NfcAdapter.EXTRA_TAG);  
  
        String[] NFCtechList =currentTag.getTechList();  
        String searchTech = NfcV.class.getName();  
  
        for (String tech : NFCtechList){  
            if (searchTech.equals(tech)){  
                NfcV nfcvTag = NfcV.get(currentTag);  
                byte[] id = nfcvTag.getTag().getId();
```

Pro čtení dat z EEPROM paměti NFC tagu vytvoříme sekvenci bajtů s hodnotami, které jsou zdůvodněné v sekci 6.2. Bajty SOF, CRC-16 a EOF jsou řešeny v rámci metody `transceive()` a jsou doplněny na správná místa automaticky. Ve vytvořeném poli bajtů jsou nahrazeny bajty 2 až 8, osmibajtovým ID tagu. Tímto krokem je zajištěna adresovatelnost příkazu.

```
byte[] command = new byte[]{  
    (byte)0x20, //RQF  
    (byte)0x20, //Příkaz: READ SINGLE BLOCK  
    (byte)0x00, (byte)0x00, (byte)0x00, (byte)0x00, (byte)0x00,  
        (byte)0x00, (byte)0x00, (byte)0x00, //UID  
    (byte)0x00, //PB  
};  
System.arraycopy(id,0,command,2,8); //Vložení hodnot ID tagu na pozice 2  
    až 8 bajtu
```

Sekvence je následně poslána do tagu, který odpoví polem bajtů a uloží ho do "sensordata". V případě, že se v poli na pozici 0 nachází hodnota "01" jedná se o chybovou zprávu a další bajty specifikují daný problém. V tom případě není vypsána žádná hodnota a uživatel obdrží zprávu o problému. Pokud je na nulté pozici pole

hodnota "00" je odpověď tagu platná a následující bajty obsahují hodnotu uloženou v EEPROM paměti. Z toho důvodu vybíráme z pole pouze bajty 1 až 3 nesoucí požadovanou hodnotu. Ty jsou získány v opačném pořadí než v jakém jsou čteny Arduinem z RGB senzoru. Je potřeba přehodit pořadí bajtů pomocí vytvořené metody `switchArray()` nacházející se v třídě `CalibrationData.java`. Tato metoda zároveň řetězí číslo v hexagonální reprezentaci, to znamená, že je odstraněna mezera mezi jednotlivými bajty. Následně jsou data v hexadecimální reprezentaci převedena na celé číslo, které je zobrazeno uživateli. Chyba při čtení dat z tagu je oznámena krátkou zprávou.

```
nfcvTag.connect();
sensordata= nfcvTag.transceive(command);
nfcvTag.close();

byte[] errordata = Arrays.copyOfRange(sensordata, 0, 1);
if (errordata[0] != (byte)0x00) {
    Toast.makeText(getApplicationContext(), "Při čtení se objevila
        chyba! Opakujte měření!", Toast.LENGTH_SHORT).show();
    return;
}

sensordata = Arrays.copyOfRange(sensordata, 1, 3);
String s = Integer.parseInt((CalibrationData.switchArray
    (CalibrationData.getHex(sensordata))), 16) + "";
viewResult.setText(s);

} catch (IOException e) {
    Toast.makeText(getApplicationContext(), "Při čtení se objevila chyba!
        ", Toast.LENGTH_SHORT).show();
    return;
}
```

V této chvíli je hodnota načtena v smartphonu, který může být oddálen od měřicího místa kolorimetru. Získanou hodnotu přiřadíme k rozpouštědлу nebo jednomu z pěti kalibračních roztoků, tím že klikneme na příslušné tlačítko (Radiobutton). Přitom dojde také k odškrtnutí všech ostatních tlačítek, která mohla být předtím zmáčknutá. Uživatel má tím vizuální přehled k jakému vzorku načtenou hodnotu přiřazuje. Poté je nutné vepsat hodnotu koncentrace do příslušného editovatelného řádku.

Výhodou takto vytvořené kalibrační aktivity, je možnost vrátit se kdykoliv během zadávání hodnot zpět k libovolnému vzorku a proměřit ho znovu. Uživatel musí

naměřit minimálně 2 kalibrační vzorky a rozpouštědlo, aby mohla být kalibrace provedena. Navíc hodnota rozpouštědla musí být vždy větší než hodnota jakéhokoli kalibračního roztoku. Tyto podmínky jsou v kódu ošetřeny a doprovázeny chybovými hláškami v případě jejich porušení⁶. Okamžité vymazání všech zadaných hodnot iniciujeme stiskem tlačítka "Vymaž vzorky". V okamžiku, kdy si je uživatel jistý, že všechny hodnoty jsou správně zadané, stiskne tlačítko "Kalibruj".

Aplikace nejprve převede proměnné z typu string (v tomto typu jsou hodnoty uloženy v objektech) na typ double. Tento krok je důležitý pro další práci s načtenými hodnotami. Hodnota kalibračního vzorku je uložena do datové struktury `inten`. Výhodou datové struktury je jednoduchý přístup k datům přes indexy, což umožňuje jednoduše porovnávat hodnoty kalibračních vzorků s rozpouštědlem. V této části kódu je zároveň řešen výpočet absorbance vzorku podle rovnice 1.4. Nakonec jsou načteny pomocné proměnné `pomConcent` a `pomAbsorb` do datové struktury `Sample.java`. Část zobrazeného kódu řeší výpočet absorbance prvního kalibračního vzorku a uložení hodnoty společně s koncentrací do seznamu.

```
if (!kon1.getText().toString().isEmpty() &&
    !kal1.getText().toString().isEmpty()) {
pomConcent = Double.parseDouble(kon1.getText().toString());

inten.add(Double.parseDouble(kal1.getText().toString()));
pomAbsorb = Math.log(CalibrationData.solvent / inten.get(0));

CalibrationData.samples.add(new Sample(pomConcent, pomAbsorb));
}
```

Následně jsou hodnoty z datové struktury `Sample` použity pro výpočet koeficientů lineární regresní přímky, respektive kalibrační přímky. Koeficienty b a a určují svými hodnotami vlastnosti dané přímky. Vzorec pro výpočet směrnice přímky (koeficient b), na které závisí sklon přímky, je následující: [22]

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (7.1)$$

Vzorec pro výpočet posunu přímky (koeficient a), který určuje průsečík přímky s osou y , je následující: [22]

$$a = \frac{\sum y_i - k \cdot \sum x_i}{n} \quad (7.2)$$

⁶Chybové hlášky vyskočí až po stisku tlačítka "Kalibruj".

Rovnice 7.1 a 7.2 jsou v tomto tvaru vypočteny v aktivitě. Výsledné hodnoty koeficientů rovnice jsou uloženy ve statické třídě `CalibrationData.java` jako pomocné proměnné pro následné použití v třídě `Measuring.java`.

Měřicí aktivita

Aktivita navazuje na hlavní aktivitu a podmínkou její funkčnosti je předchozí kalibrace. Grafická podoba aktivity je nastavena v souboru `measuring.xml` a pro její spuštění musí uživatel stisknout tlačítko "Měření". Přiložením smartphonu k zařízení dojde ke čtení dat z tagu, které probíhá stejně jako v kalibrační aktivitě. Načtenou hodnotu může uživatel smazat nebo použít k výpočtu koncentrace látky v měřeném roztoku, tím že stiskne tlačítko "Vypočti koncentraci".

Pro výpočet jsou použity koeficienty kalibrační křivky získané při procesu kalibrace a načtená hodnota, která je převedena na datový typ `double` a následně použita při výpočtu absorbance. Pro výpočet koncentrace upravíme rovnici regresní přímky 1.5 do požadovaného tvaru, viz rovnice 7.3.

$$koncentrace = \frac{absorbance - b}{a} \quad (7.3)$$

Android Manifest

Povolení aplikace využít NFC modul je nastaveno v souboru `AndroidManifest.xml`. Toto systémové povolení uživatel schvaluje už při samotné instalaci aplikace a jeho odsouhlasení je podmínkou pro její stažení. Soubor manifest také slouží k deklaraci typu softwaru nebo hardwaru, který aplikace potřebuje. V případě vyvíjené aplikace byla nastavena podmínka, aby použitý smartphone obsahoval NFC hardware. Pokud zařízení nedisponuje NFC hardwarem, aplikace se ani nezobrazí v aplikaci Google Play pro dané zařízení.

```
<uses-permission android:name="android.permission.NFC"/>
<uses-feature android:name="android.hardware.nfc" android:required="true"
/>
```

U jednotlivých aktivit můžeme nastavit **filtry záměrů** (intent filters), specifikující typy záměrů, které dokáže aktivita zpracovat. Android Studio poskytuje 3 typy záměrů používaných pro práci s NFC tagy: NDEF DISCOVERED, TECH DISCOVERED, TAG DISCOVERED.

1. `ACTION_NDEF_DISCOVERED` - záměr zahajující aktivitu v případě, že tag obsahuje NDEF zprávu. Tento záměr má nejvyšší prioritu, a proto se nejprve tag snaží začít aktivitu s tímto záměrem.

2. ACTION_TECH_DISCOVERED - záměr, který spustí aktivitu, pokud je nalezen tag a aktivita je registrována pro specifické technologie⁷ na tagu. Podmínkou funkčnosti je vytvoření listu technologií (tech-list) obsahující jednu nebo více technologií, pro které je aplikace vytvořena.
3. ACTION_TAG_DISCOVERED - záměr s nejnižší prioritou, který spustí aktivitu, pokud je nalezen tag. Pokud nějaká aktivita odpoví na ACTION TECH DISCOVERED nebo ACTION NDEF DISCOVERED pro daný tag, tento záměr nebude spuštěn.

V aplikaci jsme filtrovali záměr ACTION TAG DISCOVERED.

```
<activity android:name=".Measuring">
    <intent-filter>
        <action android:name="android.nfc.action.TAG_DISCOVERED"/>
    </intent-filter>
</activity>
```

⁷Mezi podporované technologie patří kromě NfcV, také NfcA, NfcB, NfcF, IsoDep, MifareUltralight a MifareClassic, které definovány různými mezinárodními standardy ISO. [2]

8 DISKUZE

Během vypracovávání práce vyvstalo několik problémů, pro jejichž vyřešení muselo dojít k opakovaným změnám původního konceptu řešení dle obr.3.1 na str.25.

Oproti očekávání dle dokumentace [23], bylo nutné dodat do obvodu dodatečný zdroj napájení, neboť zdroj z NFC tagu nebyl dostatečný pro napájení detektoru a světelného zdroje kolorimetru. Energetická náročnost zařízení současně vzrostla výměnou světelného zdroje LED za halogenovou žárovku, kterou bylo třeba zařadit do obvodu z důvodu spektrálních vlastností zdroje světla. Na rozdíl od původní myšlenky návrhu nelze uvažovat zcela energeticky nenáročný kolorimetr. Problémy byly vyřešeny zapojením dvou mikrotužkových baterií s celkovým napětím 2,4 V do obvodu a DC/DC měničem na 5 V.

Další problémy nastaly při sestavení čtecí a zapisovací sekvence. Smartphone, jakožto *master* zařízení ve vztahu k NFC tagu, musí poslat příkaz pro periferní transakci¹. Součástí příkazu by měla být i adresa zařízení, se kterým chce tag komunikovat na I²C sběrnici, adresa registru a datové bajty, které chceme číst popřípadě zapisovat. Tyto informace však přímo v dokumentu k NFC tagu chybí, viz dokument [23] na str. 65, "Peripheral Transaction".

Pro zjištění pozice bajtů odkazujících na periferní zařízení (RGB senzor) je potřeba nainstalovat software MAX66300-24x EVkit pro stejnojmenný evaluační kit. Při vytváření příkazu pro periferní transakci se postupovalo podle návodu [25]. Na obrázku 8.1 byl červeně vyznačen vygenerovaný příkaz pro periferní transakci se zadanými bajty pro čtení z registru senzoru, vyznačeno zeleně. V modrém rámečku je vyznačena odpověď na příkaz, v tomto případě chybí.

Pro přehlednost byla sekvence přepsána do tabulky 8.1 a hodnoty generované softwarem byly okomentovány. V tabulce nejsou hodnoty generované před červeným rámečkem na obrázku 8.1. Tyto bajty slouží pouze pro evaluační kit a při ovládání tagu přes smartphone nejsou použity. Znázorněná sekvence byla implementována do aplikace pro Android, ale požadovaného výsledku se nedařilo docílit. Zde by se hodila ukázka implementace příkazu pro periferní transakci v kódu pro nějakou aplikaci. Aplikační inženýr společnosti Maxim Integrated, s kterým probíhala komunikace, neměl ukázku implementace periferní transakce k dispozici. NFC tag MAX66242 je nový prototyp NFC tagu, který dosud není velmi komerčně rozšířen. Dokumentace k použitému tagu byla poslána na základě podpisu NDA² zodpovědnou osobou ústavu biomedicínského inženýrství VUT. Pro vývojáře by bylo výhodné pracovat s produkty STMicroelectronics, jejichž dokumentace obsahuje ukázky implementace

¹Periferní transakce patří mezi příkazy, které jsou závislé na výrobci NFC tagu.

²Non-disclosure agreement je smlouva mezi dvěma stranami, které si chtějí vyměnit informace a zároveň zabránit jejich dalšímu předávání třetí osobě.

Peripheral Transaction - I2C Master

Bytes to Read
2
☒ Send Stop Bit

Write Data
440B44

Do not delimit bytes with spaces or commas.

Execute

Configuration/Control Register - Check Box to Set Bit

☒ Configuration (EEPROM)
☐ Control (Volatile)

PIO Mode
PIO Control

☒ EHOE: 1=3.0V, 0=1.8V for VOUT (b0)
☒ RBS: 0=Read PIO's State, 1=Read PIO's Latch (b3)

P.2
0
(b5)

Read
Write

Data Log
Clear Log
☒ Enable Data Log

```

SPI Transmit:021088032026B9660D0080002BE0EED23803
SPI Receive :020788002078F02703
CRC Error - Expected D17Ah, Received F078h

Reset to Ready
SPI Transmit:021088032026B9660D0080002BE0EED23803
SPI Receive :020788000078F00703

Peripheral Transaction
SPI Transmit:021990044C1D20A22BB9660D0080002BE0100344004600A2FBA403
SPI Receive :020E900B601BFFF780C00400001FBD03
ACK Error 0Bh

Peripheral Transaction
SPI Transmit:021990044C1D20A22BB9660D0080002BE0100344004600A2FBA403
SPI Receive :020890000007F87B1C03

Peripheral Transaction
SPI Transmit:021990064C1D20A22BB9660D0080002BE01003440B4402A6C29003
SPI Receive :020A900000FFFB752B17E03

```

Obr. 8.1: Ukázka uživatelského rozhraní softwaru MAX66300-24x EVkit s vyznačeným generovaným příkazem pro periferní transakci a chybovou odpovědí senzoru.

jejich příkazů do aplikací a jsou snadno dostupné v elektronické podobě.

Důvodem chybové odpovědi senzoru, mohl být fakt, že MAX66242 není schopný generovat hodinový signál (SCL linka). Pin SCL na NFC tagu je pouze vstupní, pro příchozí hodinový signál. To však přímo nevyplývá ze schématu 3.3 na str.27 (převzato z dokumentace) a naopak se z dokumentace jeví, že tag může pracovat jako *master* zařízení a ovládat senzor bez přidání dalších komponent (s ohledem na aplikační využití tagu by toto bylo více než logické). Za současné situace by musel senzor generovat hodinový signál, což neodpovídá běžnému vztahu *master/slave*³. Možností by bylo integrovat do obvodu samotný generátor, který by hodinový signál vytvářel pro obě komponenty. Patrně tak schéma popisuje vztah, kde NFC tag je *slave* zařízení a je ovládán mikroprocesorem. Dodatečné zařazení mikroprocesoru do obvodu není při řešení práce problém, vzhledem k předchozímu rozhodnutí použít

³Master zařízení by měl iniciovat komunikaci se slave zařízením, tedy i generovat hodinový signál.

Tab. 8.1: Sekvence bajtů pro periferní translaci

Zkratka v dokumentaci	Význam bajtu	Zadané hodnoty v hexadecimálním tvaru
SOF	Start rámce (sekvence)	0x02
RQF	Žádost tagu, viz v sekci 6.2	0x20
PTRA	Příkaz: Periferní transakce (dané výrobcem tagu)	0xA2
MFG	Kód výrobce tagu dohledatelný v dokumentaci ISO/IEC 7816-6.	0x2B
[UID]	Unikátní identifikační číslo	0xB9 0x66 0x0D 0x00 0x80 0x00 0x2B 0xE0
PB	Parametrický bajt (na konci sekvence je poslán STOP bajt)	0x10
NI2CWR	Počet bajtů poslaných na I2C sběrnici.	0x03
NI2CWRD	Počet bajtů zapsaných na I2C sběrnici. Hodnota by měla odpovídat hodnotě bajtu NI2CWR.	Uvedeno v dokumentaci tagu, ale ne v generované sekvenci.
Data (n bajtů)	Data, která budou zapsána na I2C sběrnici. Je zde adresa slave zařízení, adresa registru a data, která chceme zapisovat.	0x44 (adresa zařízení, zápis) 0x0B (registr červené barvy) 0x44 (adresa zařízení, čtení)
NI2CRD	Počet bajtů čtených z I2C sběrnice.	0x02
CRC-16	Cyklická kontrola redundance	Generováno softwarem na základě předchozích hodnot bajtů.
EOF	Konec rámce	0x03

dodatečné napájení obvodu.

Během řešení bylo po dohodě s vedoucím a konzultantem upuštěno od bodu práce, kde měl být sestavený kolorimetr porovnán s komerčním kolorimetrem (resp. glukometrem). Komerční kolorimetr prokládá naměřené hodnoty nelineární křivkou, na rozdíl od námi vytvořeného kolorimetru počítající lineární regresní přímkou experimentálních bodů, viz obrázek 4.4. Chyba měření by tedy byla způsobena už při samotné kalibraci zařízení kvůli rozdílnému tvaru kalibrační křivky. Z toho důvodu nelze námi sestavený kolorimetr uvažovat jako ekvivalent ke komerčnímu přístroji a přístroje nelze porovnávat. Vlastní kolorimetr provádí navíc (z principu jeho funkce) poměrové měření, kde každé měření je originální a unikátní pro různou řadu kalibračních roztoků a není tak srovnatelné s komerčním produktem.

9 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem kolorimetrického přístroje využívajícího technologii NFC. Úvodní část práce seznamuje s problematikou absorpční spektrální analýzy, důležitými veličinami používanými při popisu absorpce světla v látkách a kolorimetrií, jakožto analytickým nástrojem pro stanovení koncentrace obarvených látek v roztoku. V práci je diskutována NFC technologie z principiálního, technického a konstrukčního hlediska, dále dělení NFC zařízení, konstrukce NFC tagů a komunikace NFC zařízení pomocí protokolů. Velká část je věnována fyzikálním principům RFID systémů.

Praktická část práce navrhuje konkrétní řešení vlastního kolorimetru a objasňuje změny v původním řešení. Řešení je doplněno blokovými schématy. Jednotlivé bloky nově navrženého kolorimetru jsou podrobněji vysvětleny a doplněny konkrétními obvodovými prvky. Bylo zjištěno, že indukční proudy vznikající v anténě NFC tagu nejsou dostačující k tomu, aby byl systém zcela bez přídavného zdroje energie. Původní návrh dále počítal s NFC tagem MAX66242 jako řídicím prvkem obvodu. NFC tag však funkci *master* zařízení nemohl zastat, protože negeneruje hodinový signál a není zcela popsáno, jak přesně by měla sekvence pro komunikaci se senzorem probíhat. Tyto důvody jsou shrnuty v diskuzi práce. Do nového návrhu kolorimetru byla proto zařazena baterie (jako zdroj přídavného napájení) a dodán mikroprocesor.

V práci je kladen důraz na výběr vhodného RGB senzoru, který je experimentálně vyzkoušen na sadě roztoků obarvených zelenou akrylovou barvou. Pro danou sadu jsou naměřeny hodnoty, značící intenzitu světla prošlého roztokem a rozpouštědlem. Absorbance a koncentrace látky v roztoku jsou vyneseny do grafu a jsou vytvořeny kalibrační křivky, jejichž analýza je zohledněna při tvorbě softwaru. Spektrofotometrickým měřením byla potvrzena absorpce červené barvy spektra po průchodu zeleně obarvenými vzorky.

V práci jsou představeny jednotlivé části elektrického obvodu, které jsou doplněny schématy zpracovanými v programu Eagle. Hlavním řídicím prvkem je platforma Arduino. K jejímu spuštění je potřeba přiložit smartphone s aktivovaným NFC modulem do blízkosti čtecího místa kolorimetru. Arduino spíná světelný zdroj a napájí NFC tag a RGB senzor. Dále zajišťuje komunikaci s jednotlivými komponentami pomocí I2C sběrnice. Kompletní obvodové řešení je v příloze. Pro samotnou aplikaci je navržena krabička, která chrání před průnikem nežádoucího světla z vnějšího okolí a zabraňuje poškození elektrického obvodu. Návrh krabičky je doplněn o technické výkresy a soubor typu STL pro 3D tisk.

Po softwarové stránce je řešena komunikace mezi jednotlivými komponentami v obvodu a výměna dat mezi NFC tagem a smartphonem. V rámci diplomové práce byla rovněž sestavena aplikace pro operační systém Android, která zajistí získání

dat z paměti NFC tagu a provede výpočet koncentrace obarvené látky nebo sytosti barvy v neznámém roztoku. Ukázka uživatelského prostředí je vidět v příloze A.2.

V rámci řešení diplomové práce byly vyřešeny všechny body zadání s výjimkou části bodu 5, který byl po dohodě s vedoucím práce a konzultantem modifikován na základě dosažených výsledků řešení. K formální a nutné změně došlo i v bodě 4 zadání, kde byla aplikace pro Android sestavena v prostředí Android Studio, původně by požadavek na prostředí App Inventor. Během řešení však bylo zjištěno, že prostředí App Inventor nepodporuje u NFC technologie mezinárodní standard ISO 15693, který naopak využívá daný NFC tag.

LITERATURA

- [1] About the NDEF Format. Adafruit [online]. 2015 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z <<https://learn.adafruit.com/>>.
- [2] Advanced NFC. Android Developer [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z <<https://developer.android.com/>>.
- [3] Android NFC read ISO15693 RFID Tag. Stack Overflow [online]. 2015 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z <<https://stackoverflow.com/>>.
- [4] Android nfcv reader: Main Activity. Java2s [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z <<http://www.java2s.com/>>.
- [5] Arduino UNO. Arduino [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z <<https://store.arduino.cc/>>.
- [6] BAXANT, Petr. Světelná technika: Optické metody [online]. 2013 [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<http://www.ueen.feec.vutbr.cz/>>.
- [7] Construction of RFID Tags. RFID4u [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z <<http://rfid4u.com/>>.
- [8] Connection error when reading Android NfcV tags. Stack Overflow [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z <<https://stackoverflow.com/>>.
- [9] Datasheet ISL29125. Intersil [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z <<https://www.intersil.com/>>.
- [10] Datasheet VEML6040. Vishay Semiconductors [online]. [cit. 2017-12-28]. Dostupné z <<https://www.vishay.com/>>.
- [11] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje – halogenové žárovky [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/>>.
- [12] FINKENZELLER, Klaus. Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2010. ISBN 978-0-470-69506-7.
- [13] Fotometrické metody. Vyšší odborná škola zdravotnická a Střední zdravotnická škola Hradec Králové [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<http://anl.zshk.cz/>>.
- [14] GAMMON, Nick. Power saving techniques for microprocessors. Gammon Forum [online]. 2012 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z <<https://www.gammon.com.au/>>.

- [15] Getting Started with the NDK. Android Developer [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z <<https://developer.android.com/>>.
- [16] GOLIÁŠ, Jan. Metody analýzy potravin: Optické metody [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<https://is.mendelu.cz/eknihovna/>>.
- [17] Introduction. Arduino [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z <<https://www.arduino.cc/>>.
- [18] ISL 29125-RGB color Light Sensor with Arduino. TheoryCIRCUIT [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z <<http://www.theorycircuit.com/>>.
- [19] ISO/IEC 18000-3:2010 [online]. 2010 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z <<https://www.iso.org/>>.
- [20] LACKO, Luboslav. Vývoj aplikací pro Android [online]. Brno: Computer Press, 2015 [cit. 2018-03-22]. ISBN 978-80-251-4347-6. Dostupné z <<https://books.google.cz/>>.
- [21] LEHPAMER, Harvey. RFID design principles. 2nd ed. Boston: Artech House, 2012. ISBN 978-1-60807-470-9.
- [22] Lineární korelační závislost. Biostatistika [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z <<https://cit.vfu.cz/>>.
- [23] MAX66242: DeepCover Secure Authenticator with ISO 15693, I2C, SHA-256, and 4Kb User EEPROM. 2014 [cit. 2018-04-14]. Interní zdroj.
- [24] MAX66242. Maxim Integrated [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z <<https://www.maximintegrated.com/>>.
- [25] MAX66300-24x Evaluation Kit. Maxim Integrated [online]. , 26 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z <<https://datasheets.maximintegrated.com/>>.
- [26] MCHUGH, Sean. Digital Camera Sensors [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<http://www.cambridgeincolour.com/>>.
- [27] MIT App Inventor Getting Started Guide [online]. [cit. 2018-03-21]. Dostupné z <<http://appinventor.mit.edu/>>.
- [28] Near Field Communication [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z <<http://nearfieldcommunication.org/>>.
- [29] NFC Forum Specification Architecture. NFC Forum [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<https://nfc-forum.org/>>.

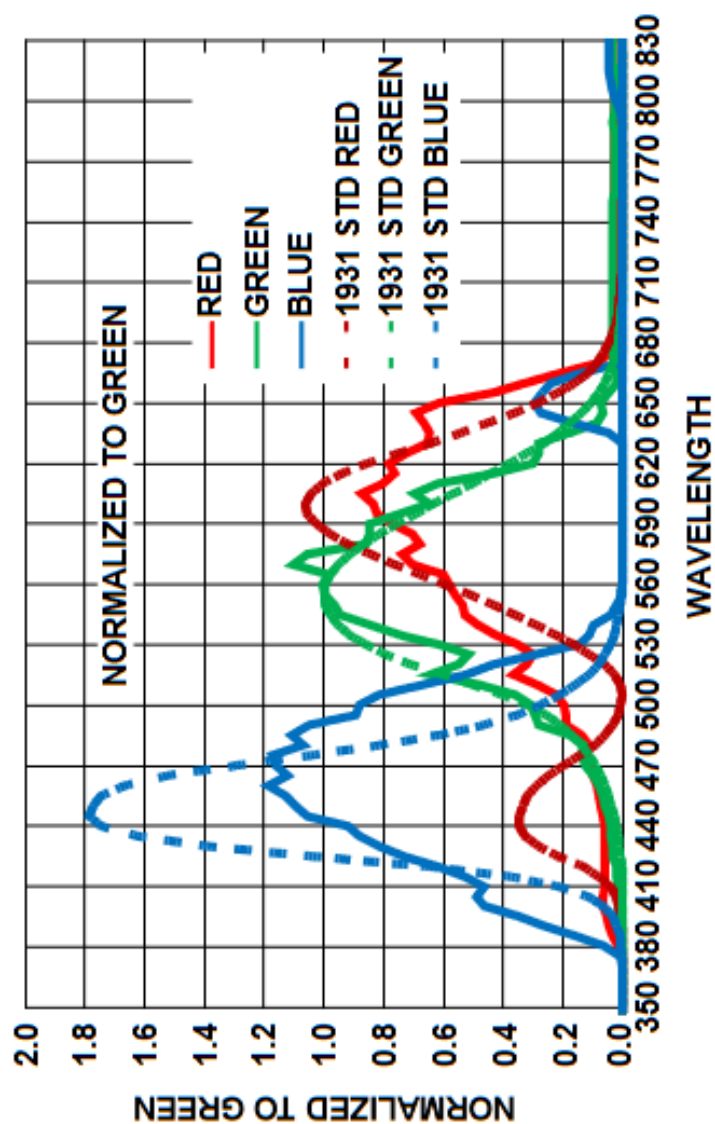
- [30] NFC type 5 tag announcement. NFC Forum [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z <<https://nfc-forum.org/newsroom/>>.
- [31] NFC-V Just Got Better – Here’s How. NFC Forum [online]. 2015 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z <<https://nfc-forum.org/>>.
- [32] Obrazové problémy digitální fotografie IV.- Záznam barev [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<http://www.fotografovani.cz/>>.
- [33] PANG, Shuo, Xiquan CUI, John DEMODENA, Ying MIN WANG, Paul STERNBERG a Changhui YANG. Implementation of a color-capable optofluidic microscope on a RGB CMOS color sensor chip substrate [online]. 2010 [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<http://pubs.rsc.org/>>.. California Institute of Technology.
- [34] Platform Architecture. Android Developer [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z <<https://developer.android.com/>>.
- [35] REICHL, Jaroslav. Spektrum atomu vodíku. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z <<http://fyzika.jreichl.com/>>.
- [36] ŠPILKOVÁ, Hana, Eva NOVOSADOVÁ a Kateřina ZIGMUNDOVÁ. Kalibrační křivka. ELUC [online]. 2015 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z <<https://eluc.kr-olomoucky.cz/>>.
- [37] ST25 NFC guide. STMicroelectronics [online]. 2016 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z <<http://www.st.com/>>.
- [38] TSULOMU, Matsuo. Construction of a Photoelectric Colorimeter and Application to Students’ Experiments [online]. , 5 [cit. 2017-11-19]. Dostupné z <<http://pubs.acs.org/>>.
- [39] WEHR, John. Contactless card standards: Making sense of 10536, 14443, and 15693 [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z <<https://www.secureidnews.com/>>.

SEZNAM PŘÍLOH

A	Obrázky	70
A.1	Senzitivita senzoru	70
A.2	Uživatelské rozhraní Android aplikace	71
B	Schéma hardwarového řešení	72
C	Krabička kolorimetru	73
D	Obsah přiloženého CD	74

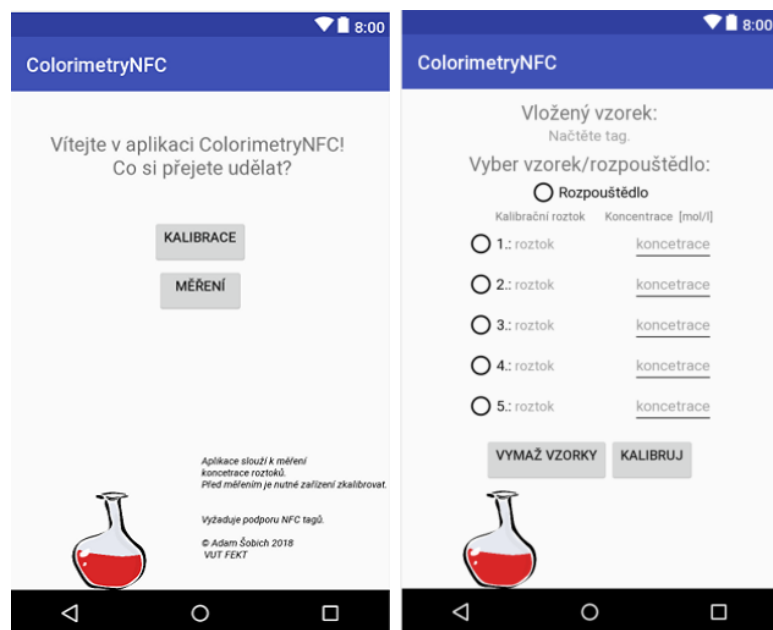
A OBRÁZKY

A.1 Senzitivita senzoru

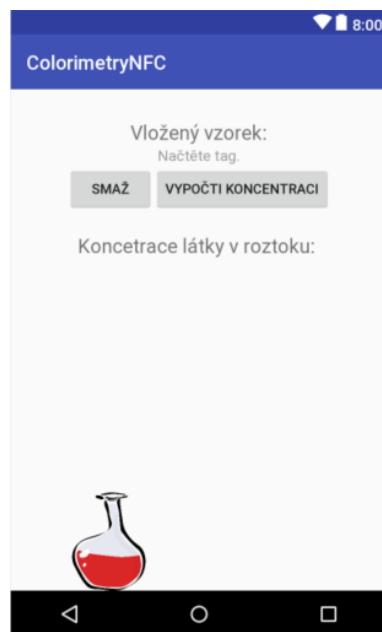


Obr. A.1: Spektrum senzitivity senzoru ISL29125 (převzato z [9])

A.2 Uživatelské rozhraní Android aplikace



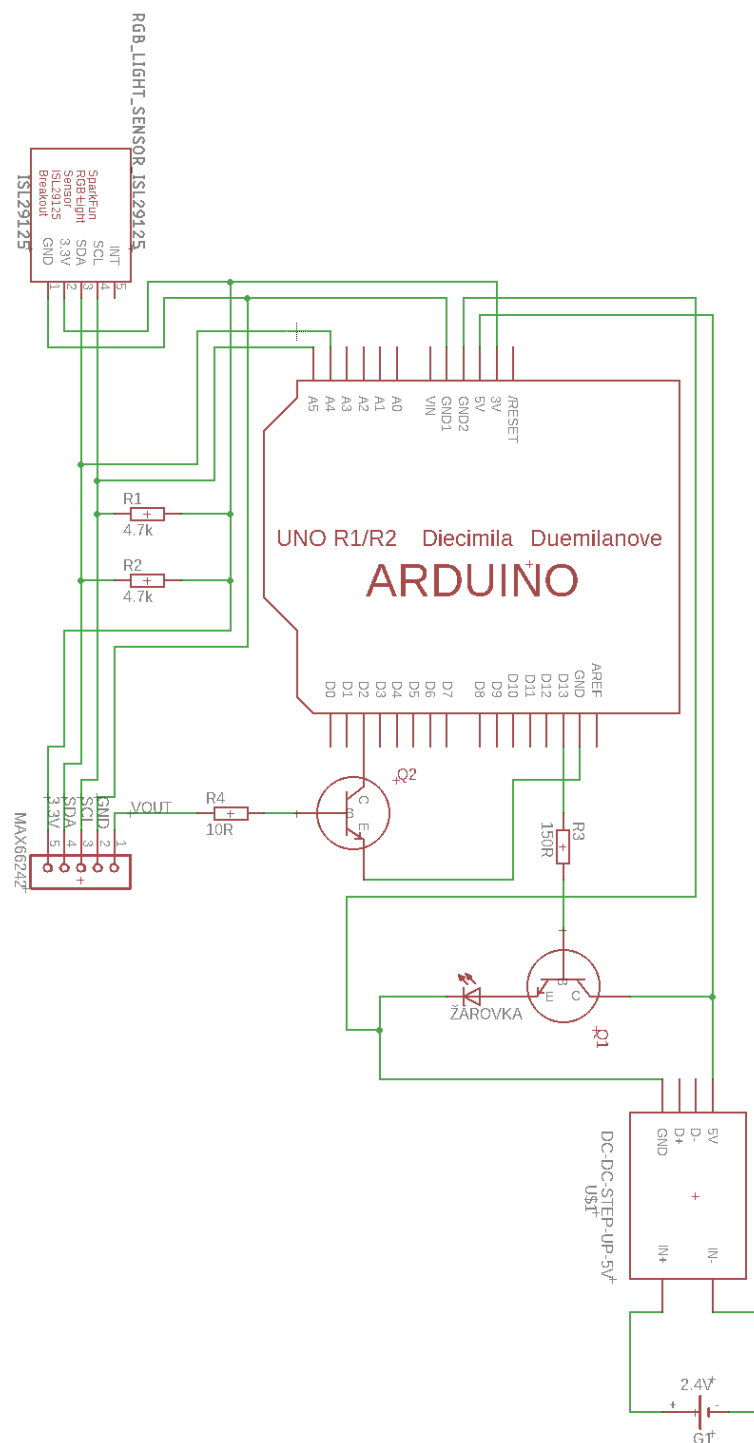
(a) Úvodní obrazovka aplikace ColorimetryNFC (b) Obrazovka kalibrační aktivity



(c) Obrazovka měřicí aktivity

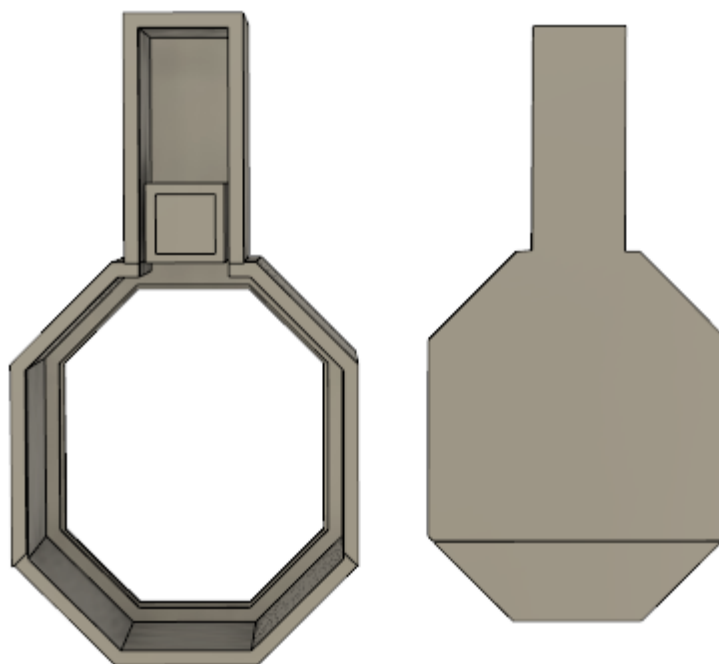
Obr. A.2: Uživatelské rozhraní Android aplikace

B SCHÉMA HARDWAROVÉHO ŘEŠENÍ

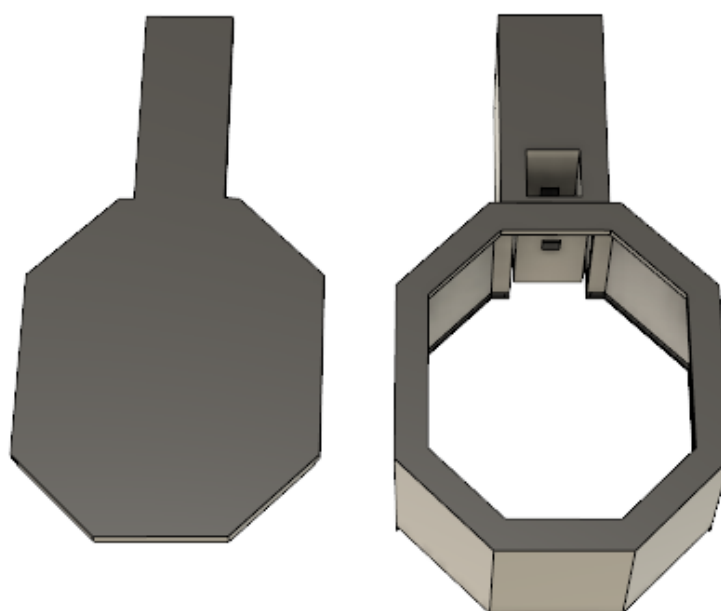


Obr. B.1: Kompletní schéma obvodu

C KRABÍČKA KOLORIMETRU



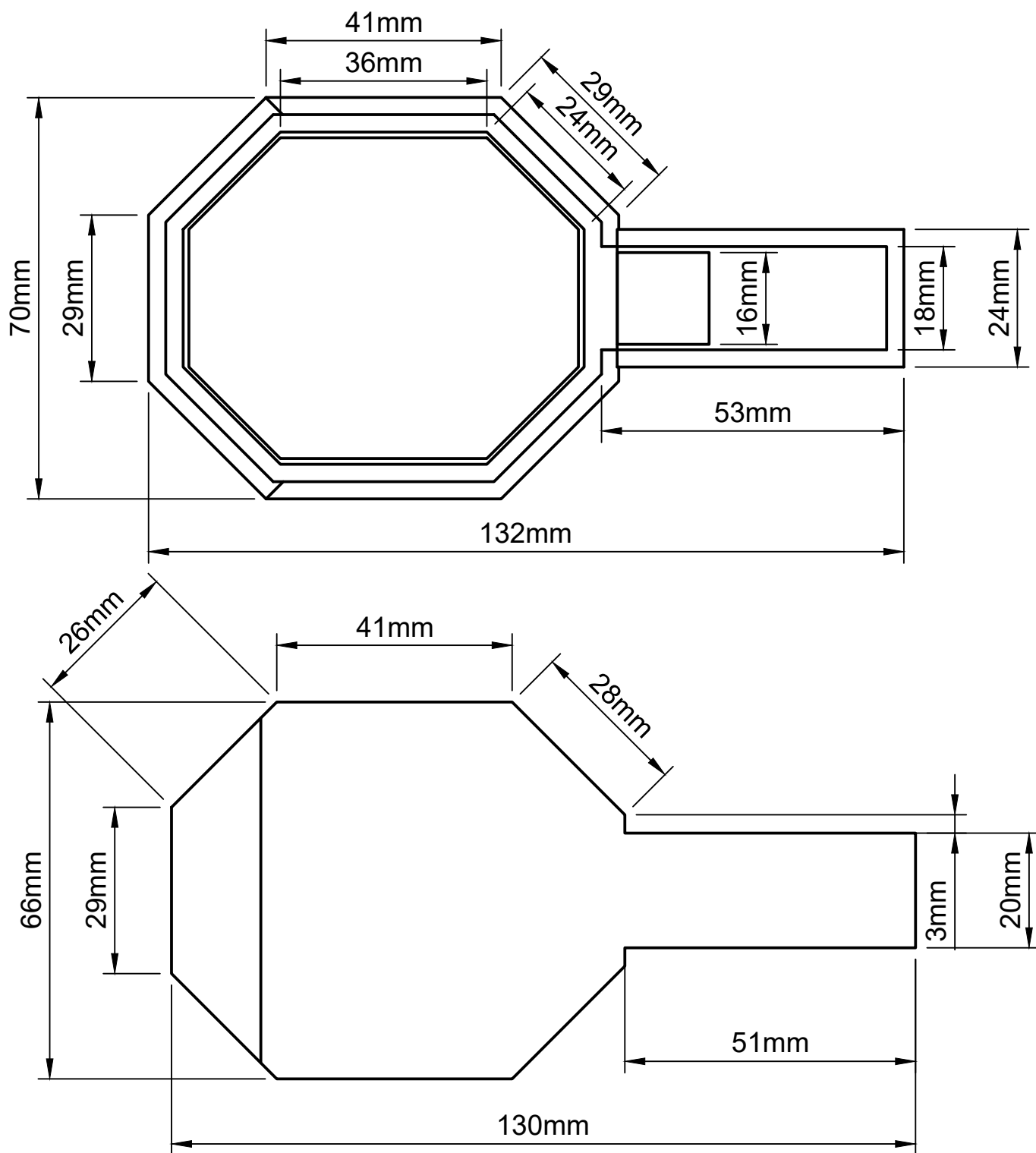
Obr. C.1: Pouzdro kolorimetru, pohled zespodu



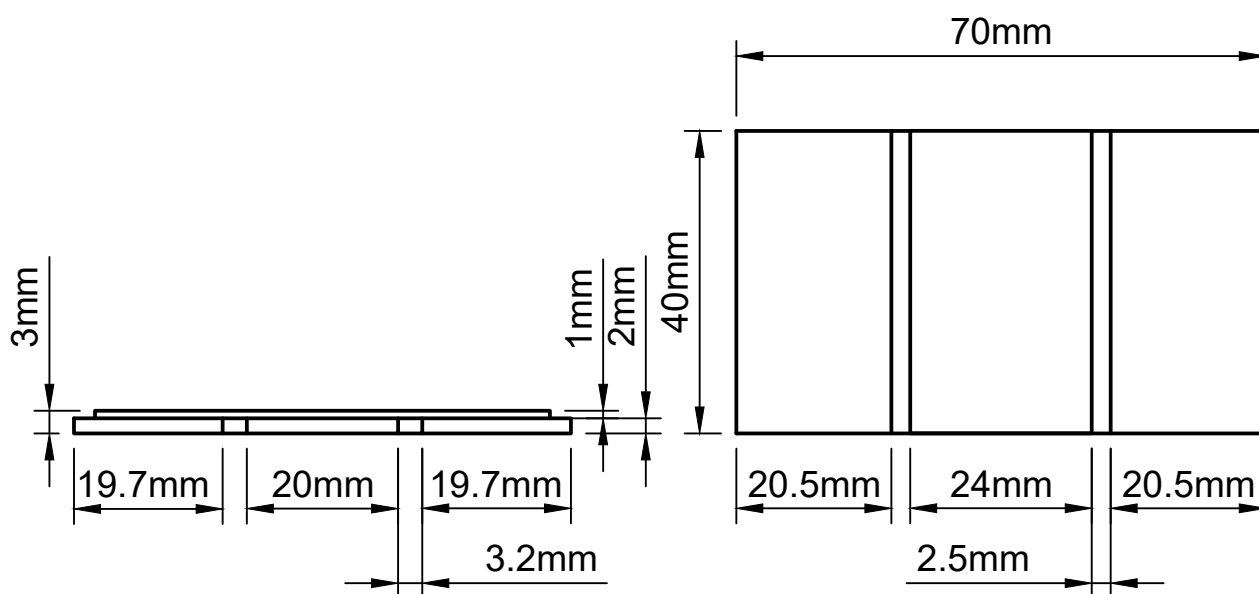
Obr. C.2: Pouzdro kolorimetru, pohled ze shora

D OBSAH PŘÍLOŽENÉHO CD

/	kořenový adresář přiloženého CD
└─ 3D modely	
└─ Krabicka.stl	
└─ Stojan_na_kyvety.stl	
└─ Viko.stl	
└─ Programy	programy použité v práci
└─ Android Studio	mobilní aplikace
└─ ColorimetryNFC.zip	
└─ Arduino	firmware pro platformu Arduino
└─ Arduino_kod	
└─ SFE_ISL29125_Library	
└─ Test_senzoru	
└─ MATLAB	testování senzoru
└─ Kalibracni_krivky.m	
└─ Spektralni_analyza.m	
└─ Schémata elektrických obvodů	
└─ I2C_rozhrani.sch	
└─ Kompletni_schema_obvodu.sch	
└─ Reseni_zdroje_napeti.sch	
└─ Spektrometrické měření	data použita v programu Spektralni_analyza.m
└─ spect02.txt	
└─ spect04.txt	
└─ spect06.txt	
└─ spect08.txt	
└─ spect10.txt	
└─ spectblind.txt	
└─ Technická dokumentace	
└─ ISL29125.pdf	
└─ MAX66242.pdf	
└─ Technické výkresy	dokumentace ke krabičce
└─ Výkres - krabička kolorimetru (ze strany).pdf	
└─ Výkres - krabička kolorimetru (zespodu).pdf	
└─ Hlavní_dokument.pdf	elektronická verze diplomové práce



Dept. Biomedicínského inž.	Technical reference	Created by Adam Šobich 24.04.2018	Approved by		
		Document type Výkres k diplomové práci	Document status		
		Title Krabička kolorimetru (pohled zespodu)	DWG No. 1		
			Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept. Biomedicínského inž.	Technical reference	Created by Adam Šobich 24.04.2018	Approved by	
		Document type Výkres k diplomové práci	Document status	
		Title Krabička kolorimetru (pohled ze strany)	DWG No. 2	
			Rev.	Date of issue Sheet 1/1